

# 6. SÄCHSISCHER RADONTAG

## 8. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

11. SEPTEMBER 2012

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK  
UND WIRTSCHAFT DRESDEN

veranstaltet durch:

**Sächsisches Staatsministerium für  
Umwelt und Landwirtschaft - SMUL**



**KORA e.V. - Kompetenzzentrum für  
Forschung und Entwicklung zum  
radonsicheren Bauen und Sanieren**

unterstützt durch:

HTW Dresden  
Hochschule für  
Technik und Wirtschaft Dresden



**ZAFIT** ZAFT - Zentrum  
für angewandte  
Forschung und Technologie e.V.





## INHALT

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig <b>Grußwort des Vorstandsvorsitzenden von KORA e.V.</b> .....	5
Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel <b>Grußwort des Rektors der HTW Dresden</b> .....	7
Dr. Fritz Jaeckel <b>Grußwort des Staatssekretärs des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft</b> .....	9

### ***RADONBELASTUNG IN GEBÄUDEN IN ABHÄNGIGKEIT VON UNTERIRDISCHEN HOHLRÄUMEN***

Christian Schramm <b>Beiträge tagesnaher Grubenbaue und weiterer unterirdischer Hohlräume zur Radonbelastung in Häusern - Grundlagen und Lösungsansätze</b> .....	11
Prof. Bernd Leißring <b>Wetterprojekt zur Senkung der bergbaulichen Radonbelastung in den Häusern der Bergstadt Schneeberg</b> .....	27

### ***RADONKARTIERUNG – RADONMESSUNG – RADONSCHUTZ UND ENERGIEEFFIZIENZ***

Dr. Peter Bossew <b>Aktueller Stand der Radonkartierungen in Deutschland und Europa</b> .....	47
Dipl.-Ing. Franz Anton Rößler <b>Entwicklung eines effizienten Messverfahrens zur Bestimmung der Radonkonzentration als Indikator für die Qualität der Raumluft</b> .....	59
Dr. Hartmut Schulz <b>Praktische Vorgehensweise bei der Sanierung von Alt- und Neubauten</b> .....	67

### ***PRAKTISCHE BEISPIELE***

Julia Gilberg <b>Radonschutz an Gebäuden - Erfahrungen u. Sachstand</b> .....	75
Freia Frankenstein-Krug <b>Förderpraxis Energieeffizientes Bauen in Sachsen unterstützt Radonschutz</b> .....	85

---

Richard Zinken <b>Kurzer Erfahrungsbericht über den Einsatz von Radonsaugern in Schweden</b> .....	93
Heribert Kaineder <b>Herangehensweise und Ergebnisse der Messungen und anschließenden Sanierungen bei der Vollerhebung in drei oberösterreichischen Gemeinden</b> .....	101
<b>Referentenverzeichnis</b> .....	109



**Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig**  
Vorsitzender Kompetenzzentrum für  
radonsicheres Bauen e.V.  
und  
Lehrgebiet Baukonstruktion an der  
Hochschule für Technik und Wirtschaft  
Dresden

## Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich begrüße Sie ganz herzlich zum **6. sächsischen Radontag!**

Als im September 2005 durch das „Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren - KORA e.V.“ zur ersten **Tagung Radonsicheres Bauen** eingeladen wurde, war nicht abzusehen, dass damit eine Tradition begründet wird, die – seit 2007 als Sächsischer Radontag veranstaltet - nunmehr bereits zum 8. Mal Experten aus ganz Deutschland und Europa zum Erfahrungsaustausch über das radonsichere Bauen und Sanieren zusammen führt.

Die seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft veranstaltete Tagung hat stets aktuelle Fragestellungen des radonsicheren Bauens und Sanierens aufgegriffen. Von Anfang an stand neben der Erörterung wissenschaftlicher Grundlagen die Vorstellung baupraktischer Lösungen im Vordergrund der Beiträge.

Auch in diesem Jahr werden wieder thematische Schwerpunkte gesetzt, die aktuelle Themen des radonsicheren Bauens und Sanierens aufgreifen. So wird im ersten Themenblock darauf eingegangen, welchen Einfluss unterirdische Hohlräume auf die Radonkonzentrationen darüber befindlicher Gebäude haben können. Die umfangreichen Untersuchungen, die zu diesem Thema in der Erzgebirgsregion durchgeführt worden sind, haben gezeigt, dass besonders hohe Werte der Radonkonzentrationen in der Raumluft häufig dann auftreten, wenn direkte Verbindungen von Schachtanlagen, Karsthohlräumen oder anderen natürlichen oder künstlichen Hohlräumen in die Gebäude vorhanden sind und somit ein ungehinderter konvektiver Zustrom radonhaltiger Bodenluft möglich ist. Es werden Untersuchungen zu den Migrationswegen des Radons sowie Methoden, diese hohen Radonbelastungen zu reduzieren, vorgestellt.

Im zweiten Teil der Tagung wird ein weiter Bogen gespannt, sind Vorträge zur Radonkartierung, Radonmessung sowie zum Zusammenhang von Radonschutz und Energieeffizienz geplant.

Wie bereits gute Tradition unserer Tagung, wird das Programm durch die Vorstellung praxisnaher Untersuchungen sowie konkreter bauliche Objekte abgerundet.

Viele haben dazu beigetragen, dass diese Tagung am heutigen Tag stattfinden kann. Vor allen Dingen möchte ich mich beim Dekan und den Mitarbeitern der Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur an der HTW Dresden für die umfassende Unterstützung bei der Vorbereitung bedanken. Dank sei auch der Hochschulleitung ausgesprochen, die – wie in den Vorjahren – wiederum die Durchführung der Tagung und darüber hinaus die Arbeit von KORA e.V. in vielfältiger Weise unterstützt. Bedanken möchte ich mich des Weiteren bei den Vertretern des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, die bei der konzeptionellen Vorbereitung wichtige Impulse einbrachten.

Nun hoffe ich, dass die heutige Tagung Ihnen viele interessante und neue Erkenntnisse bringt, die im Ergebnis dazu beitragen, dem radonsicheren Bauen und Sanieren eine breite fachliche Lobby zu geben.

Ich wünsche der Tagung einen guten Verlauf und Ihnen viele neue Erkenntnisse!

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

Vorsitzender KORA e.V.



**Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel**  
Rektor der Hochschule für  
Technik und Wirtschaft Dresden

## **Grußwort zum 6. SÄCHSISCHEN RADONTAG**

Die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden kann in diesem Jahr auf ein 20-jähriges erfolgreiches Wirken in Lehre und Forschung zurückblicken. Hierbei ordnet sich die Tätigkeit des Kompetenzzentrums für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren - KORA e.V. - in hervorragender Weise ein. In diesem Jahr veranstaltet KORA e.V. bereits seine 8. Tagung „Radonsicheres Bauen“, die seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft als „Sächsischer Radontag“ durchgeführt wird. Der Sächsische Radontag hat sich inzwischen über Sachsen hinaus in ganz Deutschland sowie in den benachbarten Ländern etabliert und ist zu einer festen Größe im Terminkalender vieler Experten des radonsicheren Bauens geworden.

Wie in den letzten Jahren wird auch 2012 diese Tagung von der HTW Dresden und dem Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V., dem Forschungszentrum an der HTW Dresden, unterstützt.

Ich freue mich, alle Teilnehmer der Tagung hier an unserer Hochschule begrüßen zu können. Den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch zu pflegen und zu befördern ist eine wesentliche Aufgabe in unserem Hochschulleben, die ich gern unterstütze. Die enge Verbindung zwischen KORA e.V. und der HTW Dresden hat sich – neben der Gastgeberschaft für die alljährliche Tagung - in den letzten Jahren sehr fruchtbar entwickelt, insbesondere auch durch die Einbindung der Problematik „Radonsicheres Bauen“ in die studentische Ausbildung. Inzwischen sind auch eine Reihe von Themen in Diplom- und Masterarbeiten behandelt worden, die sich mit dem radonsicheren Bauen befassen.

Ein Schwerpunkt der diesjährigen Tagung bildet die im sächsischen Erzgebirge bzw. in anderen Gebieten relevante Fragestellung, wie sich unterirdische Hohlräume auf die Radonkonzentration darüber befindlicher Gebäude auswirken. Darüber hinaus wird in mehreren Beiträgen über Radonkartierung und Radonmessung referiert. Verschiedene Praxisbeispiele des radonsicheren Bauens und Sanierens runden die Veranstaltung ab.

Mein Dank gilt den Organisatoren und den Referenten, die diese Tagung erfolgreich vorbereitet und mit gestaltet haben. Ich wünsche der Tagung einen interessanten Verlauf und allen Teilnehmern einen regen persönlichen Erfahrungsaustausch.

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel

Rektor der Hochschule für  
Technik und Wirtschaft Dresden







**Dr. Fritz Jaeckel**  
Staatssekretär des Sächsischen  
Staatsministeriums für Umwelt und  
Landwirtschaft

## Begrüßung

Sehr geehrte Damen und Herren,

der 6. Sächsische Radontag bietet wieder eine interessante Themenvielfalt.

Ein Leitthema dieses Jahres ist die Rolle unterirdischer Hohlräume für den Eintritt erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäude. Dieses Thema wird aufgrund der hier vorhandenen langjährigen Erfahrungen am Beispiel der Situation in Bad Schlema und in Schneeberg vorgestellt. Es behandelt damit den Umgang mit den extremsten Randbedingungen, die in Bezug auf ein Radonrisiko für Gebäude gegeben sein können.

Allerdings sollte man sich darüber im Klaren sein, dass diese Problemstellung nicht nur in einem früheren Uranbergbaugebiet eine Rolle spielt, sondern durchaus auch in anderen Bundesländern von Bedeutung ist. Die Anreicherung von Radon in unterirdischen Hohlräumen spielt für Karstregionen in Bayern und Baden-Württemberg ebenso eine Rolle wie für alle Regionen in Deutschland, in denen es unterirdischen Bergbau gegeben hat oder noch gibt.

Die übrigen Themenstellungen sollten vor allem vor dem Hintergrund der geplanten EU-Regelung zu Radon in Gebäuden gesehen werden. Bezüglich der dort vorgesehenen Referenzwerte von 200 Bq/m<sup>3</sup> für neue Gebäude und 300 Bq/m<sup>3</sup> für bestehende Gebäude sehen wir noch viele offene Fragen in Bezug auf eine mögliche Umsetzung. Dies betrifft z.B. die messtechnischen Vorgaben sowie fehlende Aus- und Weiterbildungsvorgaben für den Baubereich. Wir werden in Sachsen nicht nur im Rahmen des Radontages, sondern auch im Rahmen zahlreicher anderer Aktivitäten weiterhin auf eine verstärkte Sensibilisierung der Öffentlichkeit setzen.

Des Weiteren wollen wir die derzeitigen Messprogramme auch in den kommenden Jahren aufrechterhalten. In Zukunft sollen sie auch verstärkt genutzt werden, um Kommunen und private Hauseigentümer anzuregen, selbst Messungen in ihren Gebäuden vorzunehmen.

Auch wollen wir Aktivitäten, die zu einer Qualifizierung der Baubranche in diesem Bereich führen, weiterhin unterstützen. Es muss für die betroffenen Hauseigentümer zukünftig erkennbar werden, welche Fachkräfte und Betriebe eine solche Qualifizierung besitzen. Wir begrüßen jegliche Unterstützung von den betreffenden Verbänden und Kammern, die eine Etablierung solcher Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen ermöglichen. Vordringlichste Zielstellung muss es allerdings sein, darauf hinzuwirken, dass bei den derzeit gehäuften energetischen Gebäudesanierungen Fehler vermieden werden, die zu erhöhten Radonkonzentrationen in Innenräumen führen.

Mit diesen Anregungen möchte ich meine Begrüßung schließen und Ihnen allen einen erkenntnisreichen Radontag und viele fruchtbare Diskussionen wünschen.

Dr. Fritz Jaeckel

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium  
für Umwelt und Landwirtschaft



# BEITRÄGE TAGESNAHER GRUBENBAUE UND WEITERER UNTERIRDISCHER HOHLRÄUME ZUR RADONBELASTUNG IN HÄUSERN – GRUNDLAGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE

## CONTRIBUTIONS OF MINE WORKINGS NEAR THE SURFACE AND OTHER UNDERGROUND CAVITIES TO THE RADON-EXPOSURE IN DWELLINGS – PRINCIPLES AND MITIGATION MEASURES

Christian Schramm

Walfried Löbner

WISMUT GmbH, Chemnitz

### **Zusammenfassung**

*In den stark vom Bergbau geprägten Regionen Sachsens geht von den bergbaulichen Hinterlassenschaften häufig eine Beeinflussung der Radonsituation in Häusern aus. Hierbei spielen tagesnahe Grubenbaue eine entscheidende Rolle. Im vorliegenden Beitrag werden die grundlegenden Transportmechanismen des Radons im Untergrund und an der Gebäudehülle erörtert und das Verhalten des Systems Grube- Untergrund- Haus dargestellt. Es wird gezeigt, dass im bergbaulich beeinträchtigten Untergrund über tagesnahen Grubenbauen bzw. anderweitigen Hohlräumen und an der Systemgrenze Baugrund- Haus konvektive Gastransportprozesse die Radonmigration in ein Gebäude dominieren. Anhand der erforderlichen Voraussetzungen für konvektive Radontransportprozesse werden grundsätzlich in Frage kommende Lösungsansätze abgeleitet und diskutiert. Hierbei werden objektspezifische Einzelfalllösungen und standortbezogene Lösungen des Radonproblems unterschieden. Die Betrachtungen kommen zu dem Schluss, dass bei einem flächenhaften Gruben-einfluss auf die Häuser die Erzeugung eines Unterdruckes im Grubengebäude als einziger Lösungsansatz geeignet ist, das grubenbedingte Radonproblem in den Häusern mit vertretbarem Aufwand und kalkulierbaren Risiken zu lösen. Bei kleineren Gruben bzw. Hohlraumssystemen und bei wenigen betroffenen Häusern bzw. als flankierende Maßnahmen bei standortbezogenen wettertechnischen Lösungen sind auch objektspezifische Einzelfalllösungen je nach Beeinflussungssituation anwendbar.*

### **Summary**

*In areas in Saxony which were in the past the scene of intensive mining activities, mining legacies often affect the radon situation in houses. Thereby, near surface mining galleries are of particular importance. In the present paper the general patterns of transport of radon in the underground as well as at the interface from the ground to buildings are described. It is demonstrated, that at mining affected sites above near surface galleries, gaps and other cavities, the radon migration from the ground into houses is mainly driven by convective streaming of air. Based on the factors which trigger the convective transport of radon containing air into houses, the general approaches to manage indoor radon are evaluated and discussed. Thereby, distinction is made between object-specific as well as site-specific solutions. The presentation arrives at the conclusion that in cases where the impact of the mine galleries is extended over a bigger surface area, with a large number of houses*

*affected, production of an air depression in the mine galleries is the only reasonable, with low risk associated way to manage mine caused indoor radon. In cases of smaller underground galleries and cavities, were only a few houses are affected application of object- specific solutions is an option. Object-specific solutions are also applicable to support site-specific large-area solutions.*

## 1 Einleitung

Im Freistaat Sachsen gibt es eine Vielzahl von sehr stark vom Bergbau geprägten Regionen. Insbesondere im Erzgebirge und im Vogtland fand seit dem 12. Jahrhundert ein intensiver Bergbau auf die verschiedensten Erze statt, der bis in die 1990er Jahre von großer Bedeutung war. Aus dieser z. T. Jahrhunderte währenden Bergbautätigkeit resultieren umfangreiche Hinterlassenschaften, wie z. B. Halden, Schlampteiche, geflutete oder ungeflutete untertägige Hohlräume sowie früher bergbaulichen Zwecken dienende Anlagen. Die Hinterlassenschaften befinden sich häufig unmittelbar in den Siedlungsgebieten der aus Bergbausiedlungen hervorgegangenen Bergstädte, so dass die Häuser vielfach in unmittelbarer Nachbarschaft von Tagesöffnungen, Abbaugebieten und Bergbauhalden der Gruben stehen und deren Einflüssen ausgesetzt sind.

Die Gesteine in den Erzbergbauregionen sind infolge der vorhandenen Lagerstätten häufig durch erhöhte spezifische Aktivitäten von Radium (Ra-226) gekennzeichnet, wodurch in erhöhtem Maße das radioaktive Edelgas Radon (Rn-222) generiert wird. Das z. T. in sehr hohen Konzentrationen vorliegende Radon im Untergrund kann insbesondere bei einer starken bergbaulichen Beeinträchtigung des Gesteinsverbandes auf verschiedene Weise in Häuser gelangen. Angesichts der z. T. sehr hohen Radonkonzentrationen in Häusern über tagesnahen Grubenbauen und Hohlräumen ergibt sich die Notwendigkeit, sich intensiv mit den Ursachen und der Wirkungsweise der stattfindenden Migrationsprozesse zu beschäftigen und verschiedene Ansätze zur Senkung der Radonbelastung in gruben-beeinflussten Häusern zu prüfen.

Die im vorliegenden Beitrag angestellten grundsätzlichen Betrachtungen zu dieser Problematik dienen auch der Einordnung und dem Verständnis des Beitrags „Wetterprojekt zur Senkung der bergbaulichen Radonbelastung in den Häusern der Bergstadt Schneeberg“ und führen unmittelbar zu diesem Thema hin. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Berichterstattung zu diesem Wetterprojekt [1] verwiesen.

## 2 Bergbau und Radonbelastung in Häusern

Prinzipiell gibt es eine Reihe von potentiellen Eintrittspfaden, über die das Radon in Häuser gelangen kann, bevor es sich in den Räumen des Gebäudes ausbreitet. Die **Abb.1** zeigt ein schematisches Bild eines Hauses, das diese Eintrittspfade verdeutlichen soll.

Die Radonkonzentrationen in den Innenräumen werden u. a. von der Radonquellstärke, dem Dichtheitsgrad des Untergrundes und der Gebäudehülle, den wirkenden Transportmechanismen, den Nutzungsgewohnheiten und von der Luftwechselrate in den Räumen bestimmt.

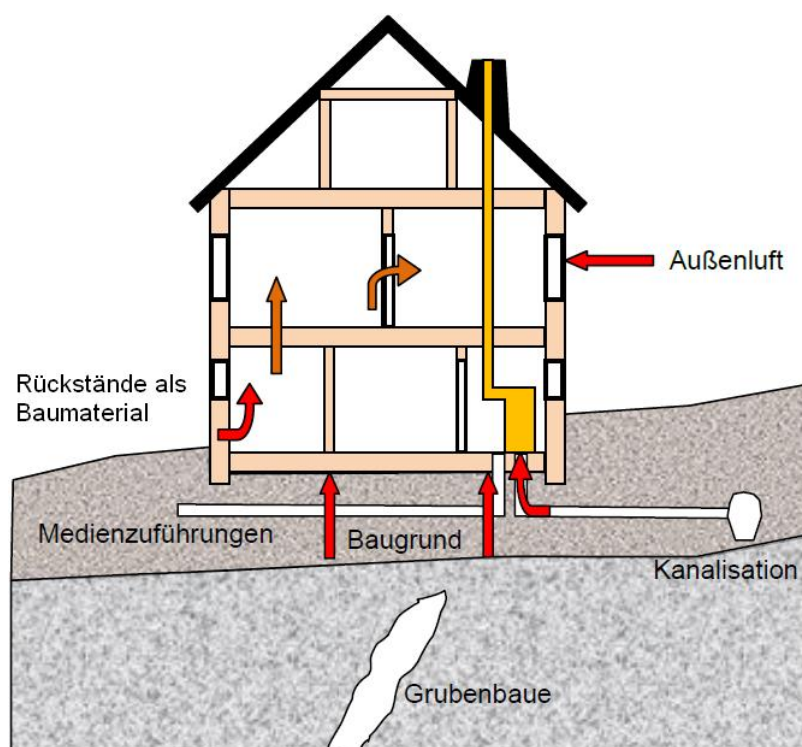
Bergbauliche Hinterlassenschaften können im Prinzip über alle potentiellen Radoneintrittspfade wirksam werden:

- Abwetternde Tagesöffnungen → über die Außenluft,
- Halden und Ablagerungen → über die Außenluft, über permeablen Baugrund, Halde als Baugrund,
- Bergbauliche Rückstände → Verwendung als Baustoff,

Tagesnahe Grubenbaue → über permeablen Baugrund, über Ver- und Entsorgungssysteme (Rohre, Kabelkanäle, Kanalisation), über die Außenluft,

Weiterhin können Komplexsituationen auftreten, bspw. wenn Halden und Grubenbaue ein System bilden und gemeinsam auf die Radonsituation in den Häusern wirken.

Nichtbergbauliche Hohlräume (Anzuchtssysteme, Höhlen, Kellersysteme) können unter bestimmten Voraussetzungen eine Quell- und Transportfunktion bezüglich des Radons ähnlich den bergbaulichen Hohlräumen übernehmen.



**Abb.1:** Schema eines Hauses mit potentiellen Radoneintrittspfaden

Die für die Strahlenexposition der Bevölkerung größte Bedeutung haben an Altbergbaustandorten die in besiedelten Gebieten liegenden ungefluteten Grubenbaue und Halden, wobei die Strahlenexposition von erhöhten Radonkonzentrationen in den Innenräumen dominiert wird. Die größten Radonexpositionen sind i. d. R. dort anzutreffen, wo das gruben- bzw. haldenbürtige Radon unmittelbar über den Baugrund oder darin verlegte Ver- und Entsorgungssysteme in die Häuser gelangt. Aus diesem Grunde wird im Folgenden näher auf die im Untergrund stattfindenden Prozesse eingegangen.

### 3 Radoneintritt in Häuser - Transportmechanismen und Systemverhalten

Die Arbeiten in den letzten Jahren zur Beherrschung der Radonsituation in Häusern haben gezeigt, dass die Entwicklung fundierter Lösungsansätze das Verständnis der Radontransportmechanismen und des Verhaltens des Systems Untergrund- Haus voraussetzt. Hierzu wurden physikalische Modelle entwickelt, die die wesentlichen Einflussgrößen und Prozesse abbilden. Die grundlegenden Prozesse wurden bereits in der 1. Tagung Radonsicheres Bauen im September 2005 dargelegt [2].

Die Verfügbarkeit von Radon im Gestein des Untergrundes bzw. im Baumaterial von Häusern wird zum einen durch den radioaktiven Zerfall von Radium (Ra-226), welches insbesondere im Bereich von Uranerzlagerstätten in erhöhten Gehalten anzutreffen ist, zum anderen durch die Emanation des Radons (Rn-222) in den offenen Porenraum des Muttergesteins bzw. des Baumaterials bestimmt. Der Prozess der Emanation des Radons in den offenen Porenraum wird wesentlich von den Gesteinseigenschaften und dem Feuchtegehalt bestimmt.

Die Radon-Generationsrate  $G$ , die den Transport des beim radioaktiven Zerfall entstehenden Rn-222 in den Porenraum des Muttergesteins erfasst, ist durch

$$G = \lambda \frac{E \cdot \rho_t \cdot A_{\text{Ra-226}}}{n(\varepsilon_L + \kappa \varepsilon_w)} \quad (1)$$

gegeben, wobei

$\lambda$	die Zerfallskonstante von Rn-222,
$E$	der materialspezifische Emanationskoeffizient des Muttergesteins,
$\rho_t$	die Trockendichte des Muttergesteins,
$A_{\text{Ra-226}}$	die spezifische Aktivität von Ra-226 im Muttergestein,
$n$	die Porosität des Muttergesteins,
$\varepsilon_L$	der luftgefüllte Porenanteil,
$\varepsilon_w$	der wassererfüllte Porenanteil und
$\kappa$	der Radon-Verteilungskoeffizient zwischen Wasser und Porenluft

sind. Anhand der verschiedenen Parameter wird deutlich, dass die Radon-Generationsrate sowohl räumlich als auch zeitlich erheblich variieren kann.

Der Radontransport im Untergrund bzw. im Baumaterial erfolgt durch Diffusions- und Konvektionsprozesse. Für den diffusiven Transport sind der materialspezifische, stark feuchteabhängige Diffusionskoeffizient und die Porosität des Materials entscheidend, während der konvektive Transport von der Mobilität der radonhaltigen Luft in den Poren des Gesteins im Untergrund bzw. in darin vorhandenen Rissen und Klüften bestimmt wird. Die Mobilität der radonhaltigen Luft wird von der Gaspermeabilität geprägt, die je nach Boden- bzw. Gesteinsart, Porosität und Porenbeschaffenheit, Klüftigkeit und Beschaffenheit der Klüfte/ Risse sowie Wassersättigungsgrad des Poren- bzw. Kluftraumes um Größenordnungen variieren kann.

Unter der vereinfachenden Modellannahme, dass der Untergrund als ein homogener poröser Körper angesehen werden kann, lässt sich der Radontransport im luftgefüllten Porenraum des Gesteins im Untergrund für den 1-dimensionalen Fall durch folgende partielle Differentialgleichung beschreiben (siehe z. B. [3], [4]):

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 C_B}{\partial z^2} - \frac{v}{n(\varepsilon_L + \kappa \varepsilon_w)} \frac{\partial C_B}{\partial z} - \lambda C_B + G \quad (2)$$

Hierbei sind

$C_B$	die Radonkonzentration in der Porenluft der im Untergrund vorliegenden Gesteine,
$D_{\text{eff}}$	der effektive, d. h. die Porosität berücksichtigende Diffusionskoeffizient und
$v$	die Konvektionsgeschwindigkeit im Porenraum.

Da die meisten Parameter zeitlich variabel sind, ergibt die Lösung der Differentialgleichung auch unter den vereinfachenden Modellannahmen eine zeitlich veränderliche Radonkonzentration in der Porenluft. Eine Berechnung gelingt folglich nur unter stark vereinfachenden Annahmen. Die Modellvorstellungen zur Dynamik des Radontransports und der Radonkonzentration in der Porenluft stehen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen umfangreicher Messungen in Gebieten mit bergbaulichen Hinterlassenschaften.

Der erste Term der rechten Seite der Gleichung (2) beschreibt hierbei den diffusiven Transport des Radons, während der zweite Term den konvektiven Radontransport im luftefüllten Porenraum beschreibt. Der dritte Term drückt den Zerfall des Radons aus, die Radon-Generationsrate bildet schließlich den vierten Term der Transportgleichung.

Triebkraft der Diffusion sind entsprechend dem 1. Fick'schen Gesetz lediglich bestehende Konzentrationsunterschiede. Die Diffusionseigenschaften eines Materials lassen sich auch durch die Diffusionslänge  $l_d$  beschreiben, die die Wegstrecke bezeichnet, die das Radon während seiner mittleren Lebensdauer ( $1/\lambda$ ) diffusiv zurücklegt. D. h., nach Zurücklegung dieser Wegstrecke sind von der ursprünglichen Radonaktivität nur noch knapp 37 % vorhanden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass das Radon zu 95 % einer Tiefe der dreifachen Diffusionslänge entstammt. Da die Diffusionslänge in Luft etwa das 10-fache der Diffusionslänge in kompaktem Fels und etwa das 100-fache der Diffusionslänge in Wasser beträgt, findet der diffusive Radontransport hauptsächlich im luftefüllten Porenraum statt. Die Diffusionslänge in einem trockenen Boden liegt bei etwa 2 m, in einem feuchten Boden bei etwa 0,5 m und in einem kompakten Porphyrgestein sogar bei nur etwa 0,15 m [5], [6], [7]. Daran wird deutlich, dass bei rein diffusivem Transport nur Radon aus dem unmittelbar anstehenden Baugrund in ein Gebäude gelangen kann. Gerade in massivem Fels und in wasser- gesättigtem Material kann der diffusive Transport von Radon aus dem Untergrund nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Der konvektive Radontransport findet ausschließlich im luftefüllten Porenraum oder in luftefüllten Klüften und Rissen des Gesteins bzw. Baumaterials statt. Er wird ausschließlich von einem bestehenden Druckgradienten verursacht:

$$\mathbf{v} = - \frac{(\mathbf{k}_P + \mathbf{k}_R)}{\eta} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{z}} \quad (3)$$

Hierbei sind

$p$	der bestehende Differenzdruck,
$k_P$	die Gaspermeabilität des porösen Körpers,
$k_R$	die Gaspermeabilität von Rissen und Klüften und
$\eta$	die dynamische Viskosität der Luft.

Die Gaspermeabilität eines Bodens hängt wesentlich von der Bodenart und -struktur, der Korngröße, der Porosität, der Größe, Form, Ausrichtung und Anzahl der Poren und von der Wassersättigung des Porenraumes ab, während bei Festgesteinen die Geometrie und die Abmessungen der luftefüllten Risse und Klüfte maßgeblich sind [8]:

$$\mathbf{k}_R = \frac{\mathbf{b}^2}{12 \left[ 1 + F \cdot \left( \frac{\mathbf{r}_m}{2 \cdot \mathbf{b}} \right)^{\frac{3}{2}} \right]} \quad (4)$$

mit	$b$	Öffnungsweite der Kluft,
	$F$	empirischer Faktor, ermittelt mit Wasser, 8,8 bei $0,032 < \text{relative Kluftauigkeit} \leq 0,1$ , 17 bei $0,1 < \text{relative Kluftauigkeit} \leq 1$
	$r_m$	Mikrorauigkeit der Kluft.

Wenn man eine Gaspermeabilität des porösen Körpers von  $10^{-12} \text{ m}^2$  (entspricht etwa einem Feinsand) annimmt, so übersteigt die Kluftpermeabilität diesen Wert bereits bei 0,1 mm Kluftöffnungsweite um Größenordnungen. Damit wird deutlich, dass bei Vorhandensein von Klüften und Rissen die Kluftpermeabilität den konvektiven Gastransport im Gestein des Untergrundes dominiert. Die Permeabilität der Gesteinsmatrix ist dann für den konvektiven Transportprozess nicht mehr bestimmend. Selbst bei relativ geringen Druckdifferenzen von einigen Pa werden

Konvektionsgeschwindigkeiten erreicht, die sowohl beachtliche Bodenluftströme als auch große Transportentfernungen des in der Bodenluft enthaltenen Radons über mehrere hundert Meter bedingen.

Ab einer Gaspermeabilität  $k > 10^{-12} \text{ m}^2$  ist der konvektive Radontransport der dominierende Radontransportprozess, der diffusive Transport spielt dann nur noch eine untergeordnete Rolle [2].

Aufgrund des bergbaubedingt stark beanspruchten Gebirges und des anthropogen überprägten Baugrundes sind konvektive Radontransportprozesse an Bergbaustandorten die eigentliche Ursache, weshalb Radon aus tagesnahen Grubenhohlräumen in den Baugrund und weiter in die Häuser gelangen kann.

Der Radoneintritt in ein Gebäude findet an der Grenzfläche des Baugrundes und den bodenberührenden Gebäudeteilen (Fundament, Kellerwände, Bodenplatte) statt. Dabei kann die Radonmigration durch diese Grenzflächen wiederum durch diffusive oder konvektive Transportprozesse bedingt sein. Der Diffusionskoeffizient von Baustoffen, wie Beton, ist in der Regel deutlich geringer als der vom Baugrund selbst, so dass die Gebäudehülle in der Regel wie eine Diffusionsbarriere wirkt.

Auch hier gilt wiederum, dass der konvektive Transport durch Risse und Leitungsdurchführungen oder anderen Öffnungen in der Regel den dominierenden Prozess darstellt. Die Rissgeometrien oder anderweitigen Leckagestellen können jedoch schwer quantifiziert werden. In Anlehnung an die experimentellen Verfahren zur Beurteilung der Gebäudedichtheit in der Bauphysik ist deshalb eine effektive Leckagefläche  $F_{RLA}$  in der Gebäudehülle durch einen Drucktest experimentell bestimmbar.

Der konvektive Radonfluss  $q_{Rn}$  durch die Gebäudehülle kann dabei mit der empirischen Gleichung

$$q_{Rn} = C_B \cdot F_{RLA} \cdot v_0 \left( \frac{\Delta p}{p_0} \right)^n \quad (5)$$

beschrieben werden, wobei  $C_B$  die Radonkonzentration im Baugrund und  $v_0$  eine Referenzgeschwindigkeit bei einem Referenzdruck  $p_0$  darstellt. Damit wird deutlich, dass der Radoneintritt in ein Gebäude durch eine Druckdifferenz verursacht und wesentlich durch die Größe (Eintrittsfläche) der Leckagen geprägt wird.

Dringt Radon über die Gebäudehülle durch Migrationsprozesse in ein Haus ein, so bildet sich in den Keller- und Wohnräumen eine bestimmte Radonkonzentration heraus. Diese Konzentration in den Innenräumen eines Hauses wird durch den Luftaustausch innerhalb des Gebäudes und den Luftaustausch mit der Außenluft geprägt.

Wird vereinfachend das Gebäude oder ein bestimmter Raum in einem Gebäude als eine Box mit dem Volumen  $V$  angenommen, die Radon-Eintrittsrate in den Raum sei  $q_R$ , die Luftaustauschrates mit der Außenluft sei  $\Lambda$  und  $C_A$  die in der Außenluft bestehende Radonkonzentration, so ergibt sich die zeitliche Änderung der Radonkonzentration aus folgender Differentialgleichung:

$$\frac{\partial C_R}{\partial t} = q_R + \Lambda C_A - \Lambda C_R - \lambda C_R \quad . \quad (6)$$

Da die meisten Parameter der Gleichung zeitlich variabel sind, ist die Radonkonzentration im Innenraum  $C_R$  als Lösung dieser Gleichung eine zeitlich veränderliche Größe.

Die sich im Raum einstellende Gleichgewichtskonzentration des Radons im stationären Zustand [9] wird außer von der Radon-Eintrittsrate wesentlich von der Luftwechselrate  $\Lambda$  (Dichtheit von Fenstern, Türen, usw.) bestimmt:



$$C_{R\infty} = \frac{\Lambda C_A + q_R}{V \left( \frac{\Lambda}{V} + \lambda \right)} \quad (7)$$

Insgesamt kann geschlussfolgert werden, dass die Radonkonzentration in Innenräumen eines Gebäudes in Gebieten mit tagesnahen Grubenbauen maßgeblich von den konvektiven Radontransportprozessen aus dem gestörten Gebirge, von den baulichen Eigenschaften des Hauses sowie von den Nutzungsbedingungen des Hauses abhängt.

Gemäß den Gleichungen (3) und (5) sind Druckunterschiede die maßgebliche Ursache für konvektive Gastransportprozesse im Untergrund, an der Gebäudehülle und im Gebäude selbst. Dies trifft gleichermaßen auch für untertägige Hohlräume zu: In den ungefluteten Grubenbauen von Bergwerken legen die so genannten Grubenwetter und mit ihnen das darin enthaltene Radon innerhalb weniger Stunden Wegstrecken von etlichen hundert Metern zurück, ohne dass hierzu eine technische Belüftung (Bewetterung) erforderlich ist. Die Druckdifferenzen werden durch den natürlichen Auftrieb erzeugt. Entlang ihres Strömungsweges nehmen die Grubenwetter das aus der Grubenbauwandung, das aus verfüllten bzw. verbrochenen Bereichen und das mit dem Wasser zutretende Radon auf und transportieren es unter ständig ansteigender Konzentration über große Entfernungen.

Der natürliche Auftrieb in kommunizierenden Luftsäulen stellt sich als Druckdifferenz  $\Delta p_{\text{nat}}$  dar. Er errechnet sich grundsätzlich aus dem sich ergebenden Dichteunterschied der Luft  $\Delta \rho$  sowie der zur Verfügung stehenden Auftriebshöhe  $h$ :

$$\Delta p_{\text{nat}} = (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot h \quad (8)$$

wobei

- $\rho_1$  die mittlere Dichte in der Luftsäule 1,
- $\rho_2$  die mittlere Dichte in der Luftsäule 2,
- $h$  die auftriebswirksame Höhe und
- $g$  die Erdbeschleunigung sind.

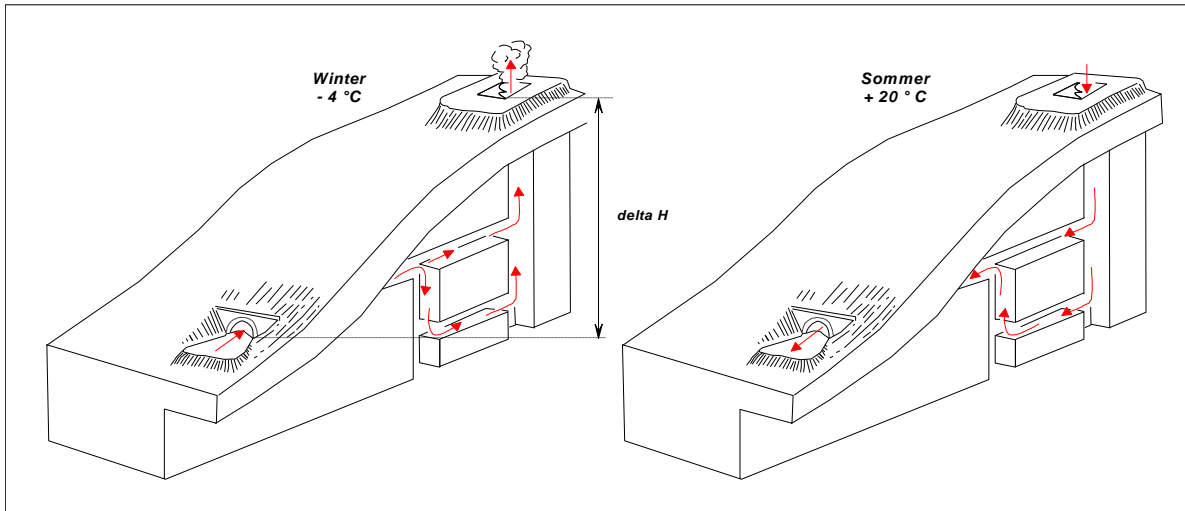
Dichteunterschiede entstehen in erster Linie durch unterschiedliche Lufttemperaturen in den kommunizierenden Luftsäulen. Unter auftriebswirksamer Höhe wird die Höhe der kommunizierenden Luftsäulen mit unterschiedlicher Dichte verstanden.

In einer ausreichend großen Grube ist die Temperatur der Grubenwetter infolge der Wärmespeicherkapazität des Gebirges über die Zeit in etwa konstant, wohingegen die Außentemperatur dem jahreszeitlichen und täglichen Gang folgt. Damit unterliegt der natürliche Auftrieb sowohl jahreszeitlichen als auch tageszeitlichen Veränderungen. Geht man von untertägigen Temperaturen von etwa 10°C aus, so bedingen höhere Außentemperaturen (Sommer) oder niedrigere Außentemperaturen (Winter) unterschiedliche Vorzeichen und Beträge des Auftriebsdruckes. Infolge dessen bilden sich in einer Grube mit hoch und mit tief gelegenen Tagesöffnungen typische Strömungssituationen heraus:

Im Sommer sinken die im Vergleich zur Außenluft kühleren, dichteren Grubenwetter im Grubengebäude nach unten und bewirken einen einziehenden Wetterstrom in Hochlage und einen ausziehenden Wetterstrom in Tallage. Bei winterlichen Außentemperaturen kehrt sich dieser Vorgang um: Die im Vergleich zur Außenluft wärmeren Grubenwetter steigen im Grubengebäude auf und bewirken einen einziehenden Wetterstrom in Tallage und einen ausziehenden Wetterstrom in Hochlage. Entspricht die Außentemperatur gerade der Grubentemperatur, so beträgt die natürliche Druckdifferenz 0 Pa und es kommt zu einem Wetterstillstand. Da im Erzgebirgsraum die Außentemperatur im Jahresmittel unter 10°C liegt, dominieren winterliche Auftriebs- und Strömungsverhältnisse.

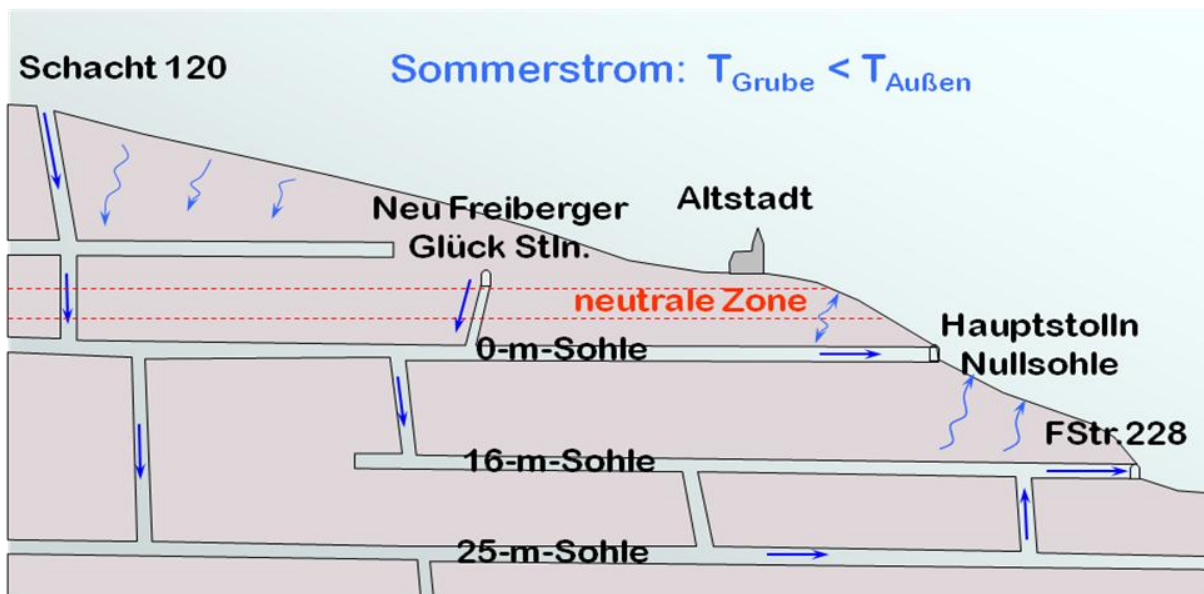
Durchläuft die Außentemperatur auch im Laufe eines Tages die Temperaturgleiche zwischen Gruben- und Außentemperatur, so kommt es auch zu einem tageszeitlichen Wechsel der Auftriebs- und Strömungsbedingungen.

Die **Abb. 2** stellt schematisch die Wetterbewegungen im jahreszeitlichen Wechsel dar.



**Abb. 2:** Schematische Darstellung von Sommer- und Winterstrom, nach [10]

Der Differenzdruck zwischen einem Grubenbau und der Tagesoberfläche, der für konvektive Gas-transportprozesse im permeablen Untergrund zwischen Grube und Tagesoberfläche verantwortlich ist, ist zeitlich variabel und räumlich verschieden. Während die zeitliche Variabilität durch die vom Gang der Außentemperatur bestimmte Veränderlichkeit des natürlichen Auftriebs bedingt wird, ist für die räumlichen Unterschiede der Druckdifferenz zwischen Grube und Tagesoberfläche die Höhenlage des jeweils betrachteten Bezugspunktes in Relation zur Höhenlage der wirksamen Tagesöffnungen maßgeblich. Hierbei ist auch der Zustand der Grubenbaue, insbesondere der Tagesverbindungen (offen oder geschlossen) wesentlich. Untersuchungen an den Gruben Johannegeorgenstadt und Schlema-Alberoda haben in diesem Zusammenhang gezeigt, dass die Höhenlage der so genannten druckneutralen Zone, die den Bereich mit Überdruck von dem Bereich mit Unterdruck im Gruben-gebäude trennt, ebenfalls Schwankungen unterliegt und sich auch innerhalb eines Bergwerks lokal unterscheiden kann (siehe **Abb. 3**).

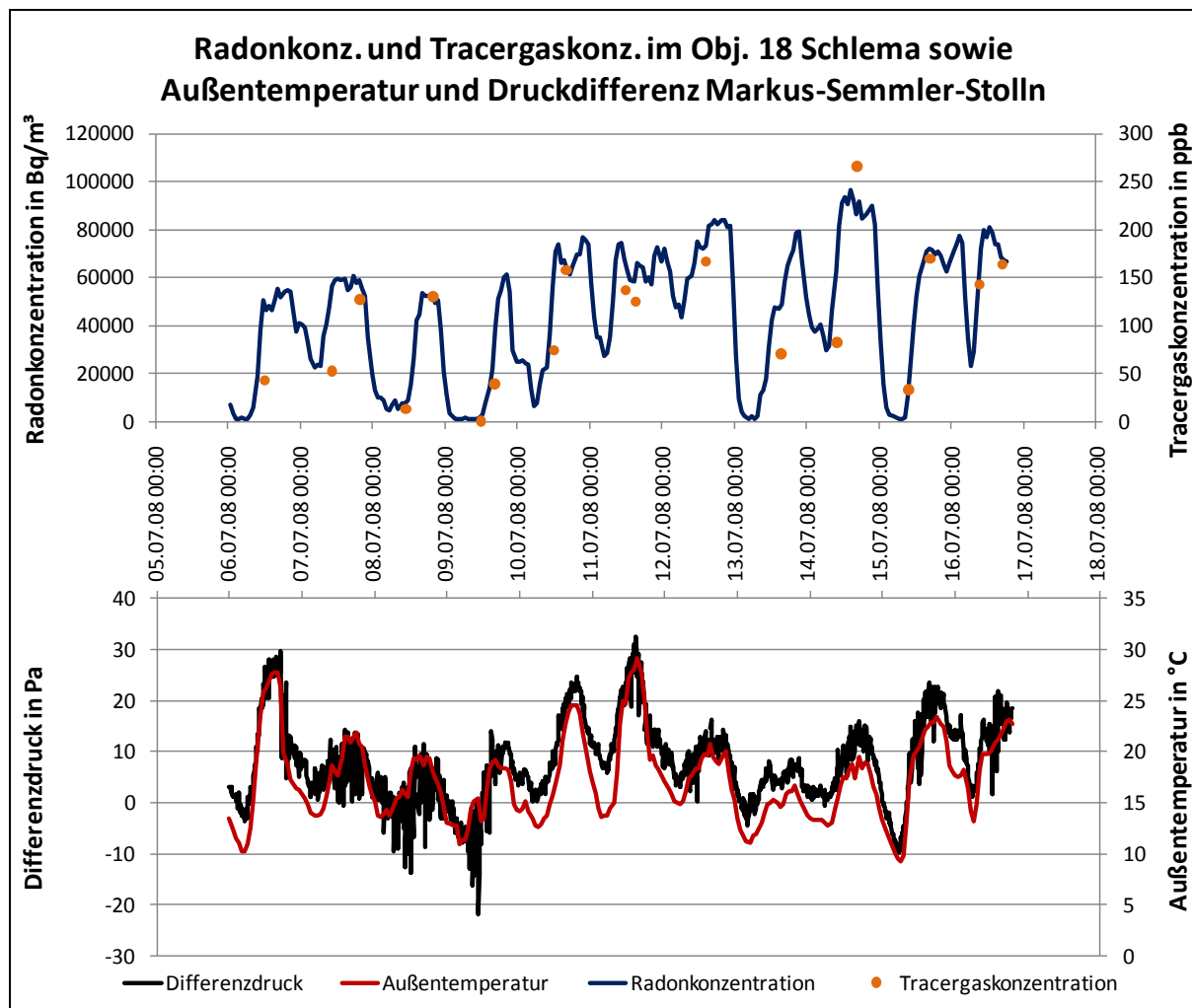


**Abb. 3:** Schematische Darstellung der sommerlichen Auftriebssituation in der Grube Johannegeorgenstadt

Der natürliche Auftrieb kann in den bislang untersuchten Gruben Schneeberg, Johannegeorgenstadt und Schlema-Alberoda bei maximalen Temperaturunterschieden zwischen den Grubenwettern und der Außenluft je nach auftriebswirksamer Höhe durchaus 220 Pa erreichen. Aufgrund der vielfältigen Kurzschlüsse zur Tagesoberfläche und der damit verbundenen Strömungsprozesse im Grubengebäude, die aufgrund des Strömungswiderstandes Druckverluste zur Folge haben, erreichen die sich tatsächlich zwischen Grube und Tagesoberfläche ausbildenden Druckdifferenzen jedoch keine derart hohen Werte. Druckdifferenzen bis 60 Pa wurden allerdings bereits gemessen.

Energetisch betrachtet sind der natürliche Auftrieb und die damit verbundenen Strömungsprozesse in Gruben der Sonnenenergie und bei tiefen Gruben auch der Erdwärme im Zusammenwirken mit der Wärmespeicherwirkung des Gebirges zu verdanken.

Die nachfolgende **Abb. 4** zeigt einen typischen Verlauf auftriebsbedingter Druckdifferenzen und das hierdurch bedingte Erscheinungsbild einer konvektiv beeinflussten Radonsituation in einem Hauskeller. Der Nachweis, dass das im Keller gemessene Radon überwiegend aus tagesnahen Grubenbauen stammt, wurde hierbei durch ein Tracergas erbracht, welches in die Grube injiziert wurde.



**Abb. 4:** Ursache und Wirkung konvektiver Radontransportprozesse im bergbaubedingt permeablen Gebirge, Keller eines Wohngebäudes im Bereich Markus-Semmler-Stolln in Bad Schlema

Vom Grundsatz her treffen für die Auftriebssituation in Gebäuden die gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu. Hier wirken jedoch auch andere Wärmequellen. Abhängig von deren Lage und der Lage der Belüftungsöffnungen stellt sich im Gebäude ein Temperaturprofil über die Höhe ein. Den Auftriebsdruck erhält man durch Integration der Dichteunterschiede über die Höhe:

$$\Delta p = g \cdot \int_{h_0}^{h_1} \Delta \rho(h) dh \quad , \quad (9)$$

wobei  $h_0$  die mittlere Höhe der Eintrittsöffnung und  $h_1$  die mittlere Höhe der Austrittsöffnung sind.

Durch Winddruck entstehen an Gebäudefassaden Zonen mit Über- und Unterdruck. Winddruckfelder können komplexe Strukturen haben. In der Tendenz entsteht nur an der Anstromseite ein Überdruck, während am Dach und allen anderen Fassaden ein Unterdruck entsteht. Der sich infolge des Windes ausbildende dynamische Druck ist in der Regel proportional dem Quadrat der mittleren Windgeschwindigkeit. Bei Windgeschwindigkeiten von 5 m/s beträgt der dynamische Druck bspw. 15 Pa. Daraus ergibt sich, dass auch der Wind konvektive Radontransportprozesse induzieren kann.

Eine weitere Triebkraft konvektiver Radontransportprozesse im Untergrund stellt das so genannte barometrische Pumpen dar. Ursache des barometrischen Pumpens sind die natürlichen Änderungen des barometrischen Druckes in der Atmosphäre. Diese Luftdruckänderungen bedingen Druckdifferenzen zwischen der Atmosphäre und untertägigen Hohlräumen. Sind diese Hohlräume, bspw. Grubenbaue, über Strömungswege mit der Atmosphäre verbunden, kommt es aufgrund der Druckdifferenzen zu Ausgleichsströmungen, die eine Übertragung der Luftdruckänderungen auf die in den Hohlräumen bestehenden Druckverhältnisse zur Folge haben. Bei fallendem Luftdruck strömt Luft aus dem Hohlraum aus, während bei steigendem Luftdruck Luft in den Hohlraum einströmt. Aufgrund der verlustbehafteten Strömungsprozesse hängt der Luftdruck in dem Hohlraum dem Luftdruck in der Atmosphäre je nach Ausbildung der Strömungsverbindungen (Strömungswiderstand) und je nach Größe des Hohlraumvolumens unterschiedlich stark hinterher, so dass sich unterschiedlich große Druckdifferenzen zwischen Hohlraum und Atmosphäre ausbilden.

Dieser physikalische Effekt äußert sich in betroffenen Gebäuden durch erhöhte Radoneintrittsraten bzw. Radonkonzentrationen während des Luftdruckabfalls und ggf. darüber hinaus bis zum Druckausgleich. Damit wird deutlich, dass auch bei Grubengebäuden mit verschlossenen Tagesverbindungen, in denen kein nennenswerter natürlicher Wetterzug besteht, konvektive Radontransportprozesse aus dem Untergrund in die Gebäude stattfinden können.

**Insgesamt stellt der natürliche Auftrieb zwar nicht die einzige, aber in vielen Fällen die dominierende Triebkraft konvektiver Radontransportprozesse von der Grube in Häuser dar. Auch im bergbaufreien Untergrund, in Haldenkörpern und in den Häusern selbst hat er einen entscheidenden Einfluss auf die Gas- bzw. Luftströmungen. Die Beachtung des natürlichen Auftriebs ist Grundvoraussetzung zum Verständnis des Systemverhaltens Grube- Untergrund-Haus und zur Entwicklung von Lösungsansätzen zur Beherrschung der Radonsituation in Häusern.**

## **4 Prinzipielle Lösungsansätze zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in Häusern**

Um prinzipielle Lösungsansätze zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation entwickeln zu können, muss von den Voraussetzungen und den Triebkräften der konvektiven Radontransportprozesse im bergbaulich beeinflussten Untergrund ausgegangen werden. Wie aus Abschnitt 3 hervorgeht, müssen für einen konvektiven Radontransportprozess von der Grube in ein Haus folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Vorhandensein einer Radonquelle oder von herangeführtem Radon in der Grube bzw. im Untergrund,
2. Vorliegen einer ausreichenden Permeabilität des Untergrundes zwischen Grube und Haus,
3. Vorliegen einer undichten Gebäudehülle (Kontaktstelle zwischen Untergrund und Gebäude),
4. Vorhandensein eines zutage gerichteten Druckgefälles zwischen Grube und Haus.

Diese Voraussetzungen können sowohl an alten als auch an aktiven Bergbaustandorten in ganz unterschiedlichem Maße erfüllt sein. An den Standorten des Uran-Gangerzbergbaus im Erzgebirge liegen die Voraussetzungen zumeist vor.

Soll der konvektive Radontransport von der Grube bzw. dem Untergrund in ein Haus unterbunden bzw. wirksam reduziert werden, kann prinzipiell bei jeder der genannten Voraussetzungen für den konvektiven Radontransport angesetzt werden. Nachfolgend sind prinzipielle Lösungsansätze aufgeführt, geordnet nach den Voraussetzungen für den konvektiven Radontransport, die jeweils den Ansatzpunkt darstellen:

#### **zu 1: Vorhandensein einer Radonquelle oder von herangeführtem Radon in der Grube bzw. im Untergrund**

##### - Entfernen der Radonquelle

Das Entfernen der Radonquellen (Grubenbaue, durchströmbare verbrochene bzw. mit Bergen versetzte Abbaue, Restvererzungen, Spülversatzbereiche mit radioaktiv kontaminierten Aufbereitungsabgängen usw.) ist weder technisch noch wirtschaftlich möglich und ist daher von vornherein nicht als praktikabler Lösungsansatz anzusehen.

##### - Entfernen des Radons

Das Entfernen des Radons aus der Grube kann nur durch eine intensive Bewetterung erfolgen, die auf eine starke Verdünnung des zutretenden Radons und dessen Abtransport nach über Tage ausgerichtet ist. Voraussetzung ist eine gute Durchströmbarkeit des Hohlsystems. Bei kleinen, offen stehenden Systemen und bei geringer Radonquellstärke kann dieser Ansatz erfolgversprechend sein. Bei großen Gruben wären zur Erreichung ausreichend niedriger Radonkonzentrationen die Komplettrekonstruktion der Grube oder von Teilen der Grube und eine hohe installierte Lüfterleistung erforderlich. Bei hohen spezifischen Radonfreisetzungsraten können kaum ausreichend niedrige untertägige Radonkonzentrationen erreicht werden. Hinzu kommt eine hohe Radonableitung in die Atmosphäre an den Standorten der Abwetterschächte.

Weiterhin besteht prinzipiell die Möglichkeit einer Entfernung des Radons aus dem Untergrund. Dies könnte durch den Aufbau eines Dränagesystems im Untergrund geschehen. Bei ausreichender Ursachenaufklärung (umfangreiche Voruntersuchungen erforderlich) wurden derartige Radondrängen lokal bereits mit Erfolg erprobt. Für ein flächenhaftes Radonproblem in Häusern, wie es an Bergbaustandorten häufig besteht, stellt aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ein Dränagesystem im Untergrund jedoch keine Option dar. Die Radondränge des Untergrundes bleibt als Lösungsansatz objektspezifischen Einzelfalllösungen in solchen Häusern vorbehalten, in denen sich mit anderen Lösungsansätzen kein Erfolg erzielen lässt.

Die Entfernung des Radons aus dem Haus ist von der Natur der Sache in jedem Falle eine objektspezifische Einzelfalllösung. Hierbei wird der Radonzutritt aus der Grube toleriert, akzeptable Radonkonzentrationen sollen durch eine ausreichende Verdünnung und Abführung des Radons erreicht werden; d. h. durch eine Erhöhung des natürlicherweise vorliegenden Luftwechsels. Bei hohem Radonzutritt aus der Grube ist eine künstliche Belüftung des Gebäudes oder von Gebäudeteilen meist unumgänglich. Der Aufbau einer solchen Lösung setzt umfangreiche Voruntersuchungen voraus, erfordert Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung und ist mit einem relativ hohen Risiko verbunden, dass die angestrebte Radonkonzentrationssenkung nicht oder nicht dauerhaft erreicht wird. Bei unsachgemäßer Anordnung und Auslegung der Raumventilatoren kann durch eine ungünstige Beeinflussung der Differenzdruckverhältnisse sogar eine Erhöhung des Radonzutritts in das Gebäude verursacht werden. Insgesamt sind diese Lüftungstechnischen objektspezifischen Maßnahmen wenig nachhaltig; sie werden erfahrungsgemäß als störend empfunden und nicht oder nur unzureichend gewartet.

##### - Kapseln der Radonquelle bzw. des Radons

Das Kapseln der Radonquellen in der Grube ist ein im untertägigen Strahlenschutz im größeren Maßstab praktizierte Lösungsansatz. Hierbei werden die Abbaubereiche und Grubenbaue dicht versetzt oder durch wetterdichte Dämme (Mauerdämme, Betondämme) hermetisiert und damit vom bewetterten Teil des Grubengebäudes abgetrennt. Das dort entstehende Radon zerfällt somit am Ort

seiner Entstehung. Im Hinblick auf die Vermeidung eines zutage gerichteten konvektiven Radontransports aus der Grube müssten sämtliche offenen, verbrochenen oder versetzten Grubenbaue, in denen Radon in größerem Maße entsteht und aus denen Radon in Häuser gelangen kann, gekapselt werden, und zwar allseitig. Neben dem Vermauern, Betonieren oder Versetzen von Hohlräumen müssen Bergeversatz- und Verbruchmassen durch Verschlämmen bzw. durch Injektage eingeschlossen werden. Im Einzelfall kann so eine Maßnahme machbar und auch zielführend sein, zumal wenn ohnehin lokalen Verwehrungsarbeiten ausgeführt werden müssen. Im Falle eines flächenhaften Radonproblems in Häusern an Bergbaustandorten scheidet eine solche Lösung jedoch aus: Zu groß ist der Aufwand zur Erkundung und bergmännischen Erschließung der ursächlichen Hohlräume, zu groß sind die erforderlichen Mengen an Versatz- und Hermetisierungsmaterial und zu ungewiss sind über Bohrungen blind erfolgte Versatz- und Injektagemaßnahmen.

Eine durchaus erfolgreiche und günstige Kapselung der Radonquellen kann unter Umständen durch die Flutung der Grube erreicht werden. Zwar löst sich Radon auch im Wasser und kann über konvektive Wasserströmungen transportiert werden und bei Kontakt mit der Luft in gewissem Maße entweichen, jedoch ist dieser Anteil verglichen mit einer Radonfreisetzung in wetterdurchströmte Grubenbaue verschwindend gering. Die Flutung muss jedoch möglichst das ganze Grubengebäude umfassen: So lange ungeflutete (tagesnahe) Sohlen verbleiben, werden sich hier hohe Radonkonzentrationen einstellen, obgleich die Radonquellstärke der Grube insgesamt stark zurück gegangen ist. Ein höherer Wassereinstau in einer Grube mit ungeflutet bleibenden tagesnahen Sohlen hat nur dann Sinn, wenn sich aufgrund einer kleineren Flächenausdehnung der ungeflutet bleibenden Sohlen die flächenhafte Erstreckung des Beeinflussungsgebietes über Tage deutlich verkleinert. Eine Flutung der tagesnahen Sohlen ist in den hiesigen Bergrevieren aufgrund der Geländemorphologie, der seit jeher praktizierten Wasserabführung über tiefe Entwässerungstollen und des intensiv perforierten Gebirges kaum möglich. Die Vernässungsgefahr und die Gefahr einer geotechnischen Destabilisierung intensiver Abbaubereiche und Versatz- bzw. Verbruchbereiche ist zu groß, hinzu kommen nicht einschätzbare Aufwendungen zur Abdichtung von unbekanntem Tagesverbindungen, durchgebauten Bereichen und natürlichen oder bergbaubedingten Klüften und Rissen im Gebirge.

## **zu 2: Vorliegen einer ausreichenden Permeabilität des Untergrundes zwischen Grube und Haus**

- Abdichten des Untergrundes

Das Abdichten des Untergrundes kann durch den Versatz größerer Hohlräume und das Verpressen von Poren, Rissen und Spalten erfolgen. An dieser Stelle wird bereits deutlich, dass dieser Lösungsansatz lediglich für objektspezifische Einzelfalllösungen an grubenbeeinflussten Häusern in Frage kommt. Ein flächenhaftes Abdichten des Untergrundes unter allen grubenbeeinflussten Häusern ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht machbar: Angefangen von der Identifizierung der grubenbeeinflussten Häuser durch flächendeckende Messungen über das Aufspüren und Versetzen größerer tagesnaher Hohlräume unter den Häusern bis hin zum Verpressen der wetterwegsamem Poren, Rissen und Spalten im Untergrund unmittelbar unter dem Haus sind diese Maßnahmen sehr teuer und mit hohen technischen Risiken verbunden (Arbeiten im Gründungsbereich des Hauses, Arbeiten im Bodenhorizont mit Medienleitungen usw.). Im Einzelfall ist eine Verbesserung der Radonsituation in einem grubenbeeinflussten Haus durch solche Maßnahmen jedoch möglich und wahrscheinlich deutlich nachhaltiger als Lüftungstechnische Maßnahmen.

## **zu 3: Vorliegen einer undichten Gebäudehülle im Kontakt zwischen Untergrund und Gebäude**

- Abdichten der Gebäudehülle

Das Abdichten der Gebäudehülle im Kontaktbereich Untergrund – Haus ist von der Natur der Sache in jedem Falle eine objektspezifische Einzelfalllösung. Für das Abdichten kommen eine Reihe von Technologien in Frage. Von ausschlaggebender Bedeutung ist die genaue Kenntnis der Eintrittspfade für die grubenbürtige, radonbelastete Bodenluft. Hierfür sind z. T. aufwändige messtechnische Untersuchungen erforderlich. Je nach dem identifizierten Eintrittspfad sind Maßnahmen wie bspw. eine Betonage des Kellerbodens, das Einbringen von radondichten Folien im Fußboden, ein Abdichten des Mauerwerkes durch Injektage oder durch das Aufbringen von Sperrschichten erfolgversprechend. Ggf. kann ein sorgfältiges Abdichten der Medienzuführung oder eine Erneuerung des Abwasser-

systems im Haus ausreichen. Alternativ kann ein Radonzutritt in den Keller toleriert, die Abdichtungsmaßnahmen dann zwischen Keller und Wohnbereich vorgenommen werden, wenn dies weniger Aufwand bereitet. In jedem Fall ist hier fachmännischer Rat unverzichtbar. Die Erfolgsquote und die Nachhaltigkeit einer solchen Lösung sind stark von der Sorgfalt der Untersuchungen und von der Qualität der Bauausführung abhängig.

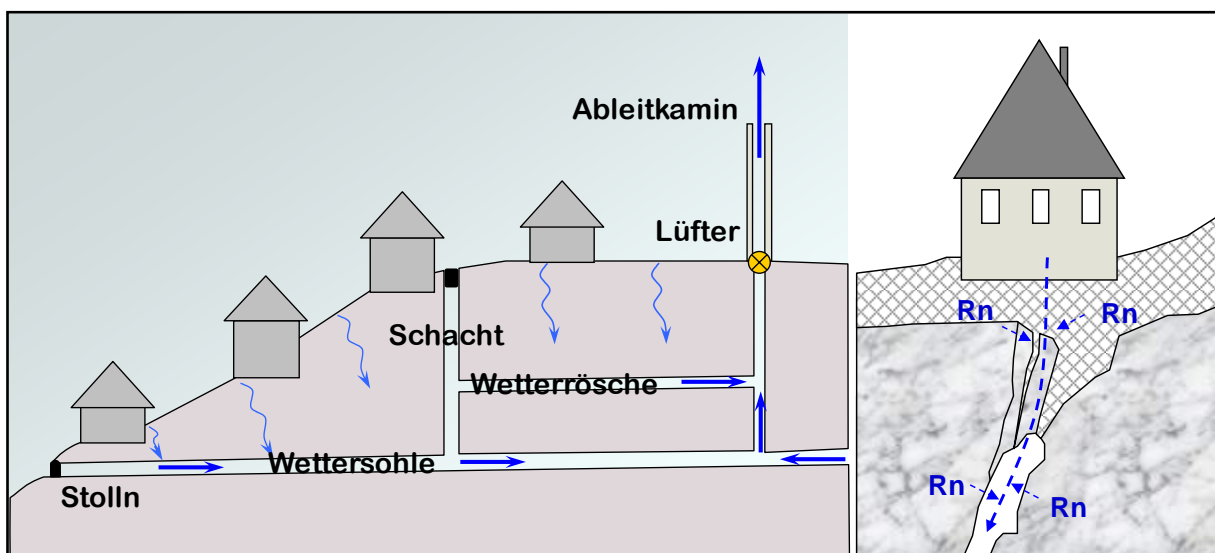
#### zu 4: Vorhandensein eines zutage gerichteten Druckgefälles zwischen Grube und Haus

- Herstellung eines grubenwärts gerichteten Druckgefälles

Ein grubenwärts gerichtetes Druckgefälle kann zum einen durch einen stabilen Unterdruck in der Grube, zum anderen durch einen stabilen Überdruck im Haus erreicht werden.

Die Erzeugung eines Überdruckes im Haus ist von der Natur der Sache in jedem Falle eine objekt-spezifische Einzelfalllösung. Prinzipiell kann die Überdruckerzeugung auf den Gebäudeteil beschränkt bleiben, in den der Radonzutritt aus der Grube erfolgt (bspw. den Keller). Der Überdruck muss hierbei groß genug sein, dass der grubenbedingte Druckgradient jederzeit sicher überprägt wird. Der Aufbau von Überdrücken von mehreren 10 Pa in einem Raum erfordert aus energetischen Gründen zusätzlich ein Abdichten des betreffenden Raumes. Es ist eine hohe Disziplin der Bewohner erforderlich, da die Türen und Fenster stets geschlossen gehalten werden müssen. Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung sind nur eingeschränkt möglich.

Die Erzeugung eines stabilen Unterdruckes in der Grube gehört zu den wettertechnischen Lösungsansätzen. Schwerpunkt ist hierbei jedoch nicht die Verdünnung und Abführung des in der Grube entstehenden Radons, sondern das Verhindern eines zutage gerichteten konvektiven Radontransportes durch Erzeugung eines stabil grubenwärts gerichteten Druckgefälles. D. h. Strömungsprozesse im Untergrund werden nicht verhindert, sondern nur in ihrer Richtung beeinflusst. Unter bestimmten Voraussetzungen ist ein derartiger Lösungsansatz auch in der Lage, Radon aus einem Gebäude abzusaugen, das im Gebäude selbst oder im Gebäudeuntergrund entsteht. Voraussetzung für ein Funktionieren dieses Lösungsansatzes ist, dass ein ausreichender Unterdruck erzeugt und bis in die relevanten Bereiche der Grube transportiert werden kann. Der Unterdruck muss an jeder relevanten Stelle des Grubengebäudes den natürlichen Auftrieb sicher überprägen. Dies erfordert eine künstliche Erzeugung des Unterdruckes (saugende Ventilatoranlage). Die nachfolgende **Abb. 5** verdeutlicht die Wirkungsweise einer wettertechnischen Lösung zur Herstellung eines grubenwärts gerichteten Druckgefälles:



**Abb. 5:** Wirkprinzip einer wettertechnischen Lösung zur Herstellung eines grubenwärts gerichteten Druckgefälles

Für die Ausbreitung des Unterdruckes bis in die peripher gelegenen Problembereiche sind offene Wetterwege notwendig. Diese müssen im erforderlichen Umfang aufgewältigt werden. Durch ein

möglichst dichtes Verschließen der offenen Tagesverbindungen soll eine verlustarme Ausbreitung des Unterdruckes erreicht werden, da bei geringen Wettervolumenströmen die Druckverluste längs eines Wetterweges klein sind. Des Weiteren kommt man dann mit einer geringeren Anzahl von Wetterwegen bzw. mit geringerem Streckenquerschnitt aus. Ein geringer Gesamtwettervolumenstrom begrenzt schließlich die Wetterleistung des Ventilators beträchtlich. Insofern spielt die Verdünnung des Radons in der Grube bei diesem Ansatz keine nennenswerte Rolle.

Prinzipiell kann der Unterdruck im gesamten Grubengebäude erzeugt und damit eine flächenhaft wirkende Lösung des grubenbedingten Radonproblems angestrebt werden. Wenn nur über bestimmten Teilen der Grube ein Grubeneinfluss auf die Radonsituation in den Häusern vorliegt, kann man den Unterdruck aber auch nur in den entsprechenden Teilen der Grube erzeugen und damit lokal wirkende Lösungen erreichen. Hierzu müssen die relevanten Grubenteile vom restlichen Grubengebäude wettertechnisch abgetrennt werden. Vorteil einer lokalen wettertechnischen Lösung sind der geringere Aufwand zur Herstellung des Bewetterungssystems und geringere Unterhaltungskosten.

Je nach der vorliegenden Beeinflussungssituation in den Häusern, den wettertechnischen Voraussetzungen unter Tage und dem gewählten Ansatz (flächenhaft oder lokal) kann der Unterdruck durch Betrieb einer zentralen Abwetteranlage oder mehrerer kleinerer dezentraler Abwetteranlagen erzeugt werden. Wie bei allen wettertechnischen Lösungsansätzen ist mit dem Betrieb einer oder mehrerer Abwetteröffnungen eine Radonableitung verbunden, die bei der Standortauswahl und der Gestaltung der Abwetteranlage berücksichtigt werden muss.

Bei dem Lösungsansatz Erzeugung eines Unterdrucks in der Grube wird das Problem mit Hilfe der Grube als der eigentlichen Ursache des Problems gelöst, indem die natürlichen Druckgradienten als Triebkräfte für den konvektiven Radontransport von der Grube in die Häuser künstlich überprägt werden. Dieser Lösungsansatz hat den Vorteil, dass an der Tagesoberfläche und insbesondere an den Häusern keine Arbeiten erforderlich sind und mithin das Geschehen in der Stadt bzw. Gemeinde und die Privatsphäre der Bürger weitgehend unberührt bleiben. Weiterhin werden durch eine solche Lösung automatisch auch die grubenbeeinflussten Häuser erreicht, deren Eigentümer sich entsprechenden Untersuchungen und objektspezifischen Einzelfalllösungen verweigern. Unter bestimmten Voraussetzungen (dominanter Grubeneinfluss) wird als positiver Nebeneffekt auch das Radon zur Grube abgeführt, welches im Baumaterial oder im Untergrund selbst entsteht und dem Haus ansonsten ebenfalls zutreten würde.

Das zur Erzeugung eines Unterdrucks erforderliche Bewetterungssystem kann anpassungsfähig gestaltet und somit entsprechend den jeweils bestehenden Anforderungen und Randbedingungen optimiert werden. Hierdurch kann der urbanen Entwicklung, bspw. der Entstehung neuer Wohngebiete im Bereich tagesnaher Grubenbaue, Rechnung getragen werden. Im Hinblick auf eine optimierte Fahrweise der Lüfteranlagen bestehen gute Voraussetzungen für einen weitgehend automatisierten, geordneten Betrieb der Anlagen. Hierdurch kann bspw. auch eine Energieeinsparung durch die Nutzung des natürlichen Auftriebs erreicht werden. Die Anwendung alternativer Energiekonzepte ist bei einer wettertechnischen Lösung ebenfalls denkbar.

Nachteilig ist bei großen Gruben der hohe Aufwand zur Etablierung des Bewetterungssystems. Bestimmender Faktor ist hierbei die Rekonstruktion der Wetterwege des Systems, wobei auf eine lange Lebensdauer abzielen ist. Von der Lebensdauer der Wetterwege hängen entscheidend auch die laufenden Betriebskosten ab; die eigentlichen Lüfterbetriebskosten sind hingegen vergleichsweise gering. In der Herstellungsphase des Bewetterungssystems können Kostenvorteile durch Synergieeffekte erreicht werden, indem bspw. ohnehin erforderliche Bergsicherungsarbeiten sinnvoll in den Aufbau des Bewetterungssystems eingeordnet werden.

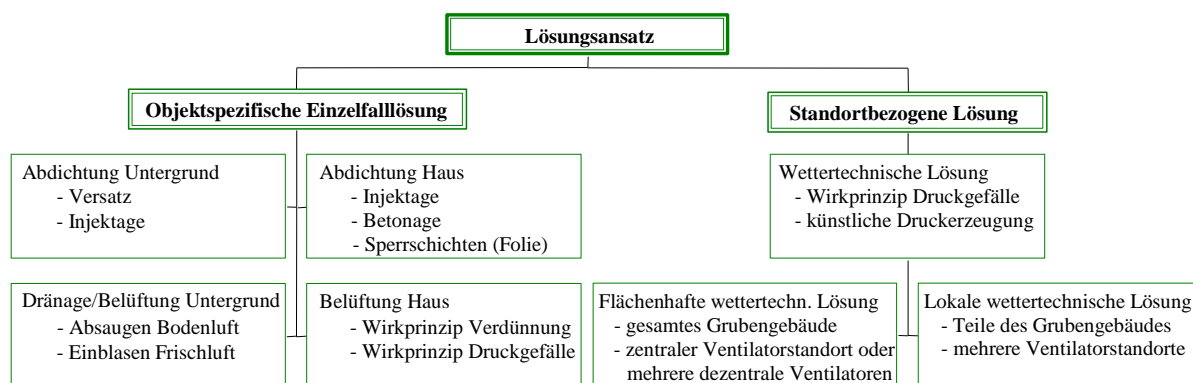
Von Nachteil ist weiterhin, dass ein wettertechnischer Lösungsansatz mit Radonableitungen in die Atmosphäre verbunden ist. Durch die Auswahl geeigneter Abwitterschächte abseits bebauter Gebiete und die Errichtung von ausreichend dimensionierten Ableitkaminen kann jedoch erreicht werden, dass hierdurch keine relevanten Strahlenexpositionen der Bevölkerung entstehen.

Da die Notwendigkeit besteht, die Bewetterungslösung ständig und auf nicht absehbare Zeit zu betreiben, muss sie als eine so genannte Ewigkeitslast eingeordnet werden. Allerdings ist in diesem Zusammenhang auch die Entwicklung der Altersstruktur von Wohngebäuden zu berücksichtigen: Während bei alten Gebäuden objektspezifische Radonschutzmaßnahmen häufig sehr teuer und risikobehaftet sind, können bei Neubauten von vornherein Vorkehrungen zum Radonschutz getroffen werden.



In Häusern, deren Radonsituation von anderen Quellen als von tagesnahen Grubenbauen dominiert wird und die daher nicht oder nur geringfügig von einer wettertechnischen Lösung profitieren, muss das Radonproblem mit objektspezifischen Einzelfalllösungen behoben werden.

In der **Abb. 6** sind die vom Grundsatz her machbaren Lösungsansätze zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in Häusern noch einmal in einer Übersicht dargestellt:



**Abb. 6:** Prinzipiell machbare Lösungsansätze zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in Häusern

Insgesamt wird eingeschätzt, dass bei einem flächenhaften Grubeneinfluss auf die Häuser die Erzeugung eines Unterdruckes im Grubengebäude als einziger Lösungsansatz geeignet ist, das grubenbedingte Radonproblem in den Häusern mit vertretbarem Aufwand und kalkulierbaren Risiken zu lösen.

Bei kleineren Gruben bzw. Hohlraumssystemen und bei wenigen betroffenen Häusern bzw. als flankierende Maßnahmen bei standortbezogenen wettertechnischen Lösungen sind auch objektspezifische Einzelfalllösungen je nach Beeinflussungssituation anwendbar.

An dieser Stelle sei auf den Beitrag „Wetterprojekt zur Senkung der bergbaulichen Radonbelastung in den Häusern der Bergstadt Schneeberg“ verwiesen, in dem die Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen und Tests zusammengefasst und ein konkretes Projekt für das flächenhaft grubenbeeinflusste Gebiet der Stadt Schneeberg vorgestellt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Löbner, W., Schramm, C., Geringswald, K., Leißring, B., Leißring, N., Martin, H.: Abschlussbericht Konzept zur Entwicklung und Optimierung von technischen Lösungen für die langfristige Beherrschung des Einflusses offener Grubenbaue auf die Radonsituation in Häusern unter besonderer Berücksichtigung der Grubenwasserlösung über den Markus-Semmler-Stolln, WISMUT GmbH und GEOPRAX Chemnitz, 2009
- [2] Löbner, W., Schulz, H.: Wie und warum gelangt Radon in ein Haus?, in: KORA e. V. (Hrsg.): Tagungsband der 1. Tagung Radonsicheres Bauen, Dresden, 28. September 2005
- [3] Nazaroff, W.W., Nero, A.V. (Hrsg.): Radon and its decay products in indoor air. New York: John Wiley & Sons Inc., 1988
- [4] Rogers, V.C., Nielson, K.K.: Multiphase Radon Generation and Transport in Porous Materials, Health Phys. 60, pp. 807 - 815, 1991

- [5] Tanner, A. B.: Radon migration in the ground: a review, in: Adams, J.A.S. und Lowder, W.M. (Hrsg.): Proceedings of the International Symposium on the Natural Radiation Environment, University of Chicago press, Chicago/II/USA; pp. 161-181, 1964
- [6] Keller, G.W.: Die Strahleneinwirkung durch Radon in Wohnhäusern, Bauphysik 15 (1993), Heft 5
- [7] Schulz, H., Funke, L. et al.: Entwicklung einer Messmethodik zur Bestimmung der Radon-  
quellstärke großer Flächen und Bewertung der Radondämmwirkung von Abdeckschichten, in:  
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Band BMU – 2003-622, 2003
- [8] Kamlot, W.-P.: Gebirgsmechanische Bewertung der geologischen Barrierefunktion des Haupt-  
anhydrits in einem Salzbergwerk, in: Klapperich, H., Konietzky, H. (Hrsg.): Veröffentlichungen  
des Instituts für Geotechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Heft 2009-3,  
2009
- [9] Akbari, K., Mahmoudi, J.: Simulation of Radon Mitigation in Residential Building with Ventilation,  
[www.scansims.org/sims2008/22.pdf](http://www.scansims.org/sims2008/22.pdf)
- [10] Wagenbreth, O., Wächtler, E. et al.: Bergbau im Erzgebirge. Technische Denkmale und  
Geschichte, Leipzig, 1990

# WETTERPROJEKT ZUR SENKUNG DER BERGBAULICHEN RADONBELASTUNG IN DEN HÄUSERN DER BERGSTADT SCHNEEBERG

## A MINE VENTILATION PROJECT TO REDUCE THE MINE-BORNE RADON GAS EXPOSURE IN BUILDINGS IN THE MINING TOWN SCHNEEBERG

Bernd Leißring<sup>1)</sup>, Nick Leißring<sup>1)</sup>

Kai Geringswald<sup>2)</sup>, Walfried Löbner<sup>2)</sup>, Christian Schramm<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

<sup>2)</sup> Wismut GmbH, Chemnitz

### **Zusammenfassung**

*Das Schneeberg-Neustädter Revier war eines der bedeutendsten Bergbaureviere des Erzgebirges. Der Bergbau blickt auf eine nahezu 600-jährige Geschichte zurück. Ab Mitte des 15. Jahrhunderts wurde auf dem Schneeberg reichlich Silber gefunden, später waren Kobalt-, Nickel- und Wismuterze Hauptgegenstand des Bergbaus. Nach 1945 wurde von der SAG/SDAG WISMUT ein intensiver Bergbau auf Uranerze betrieben. Nach der Einstellung des Bergbaus 1956 verblieben umfangreiche Bergbauhinterlassenschaften, häufig mitten im Stadtgebiet. Anfang der 1990er Jahre wurde das von den Bergbauhinterlassenschaften ausgehende Radonproblem öffentlich thematisiert. In den Folgejahren wurden vielfältige Untersuchungen angestrengt und Lösungen erprobt. Es wurde festgestellt, dass die z. T. dicht unter der Tagesoberfläche liegenden Gruben Hohlräume in sehr vielen Fällen die Ursache für sehr hohe Radonkonzentrationen in den darüber befindlichen Häusern darstellen. Das Radon gelangt hierbei durch konvektive Gastransportprozesse aus der Grube in die Häuser. Die Triebkraft dieser Prozesse ist in erster Linie der durch Dichteunterschiede bedingte natürliche Auftrieb der Grubenluft. Da die hohen Radonkonzentrationen in Häusern ein flächenhaftes radiologisches Problem im gesamten Stadtgebiet darstellen, das nicht länger toleriert werden kann, wurde 2008 ein zunächst standortübergreifendes, später speziell auf Schneeberg fokussiertes Projekt zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in den Häusern begonnen. Im Rahmen dieses Projektes wurde herausgearbeitet, dass eine an der Grube als dem eigentlichen Ursprung des Problems ansetzende wettertechnische Lösung nach dem Wirkprinzip „Herstellung eines Unterdrucks in den Grubenbauen“ als einzige geeignet ist, das grubenbedingte Radonproblem in den Häusern mit vertretbarem Aufwand und überschaubaren Risiken zu lösen. Maßgeblich für diese Feststellung sind die Ergebnisse intensiver Untersuchungen an einer auf dem Kirchplatz der St. Wolfgangskirche mitten im Stadtzentrum umgesetzten lokalen Bewetterungslösung. Hier werden seit 2007 umfangreiche bergmännische Erkundungs- und Verwahrungsarbeiten durchgeführt mit dem Ziel, die Sicherheit der Tagesoberfläche herzustellen und die Radonsituation in den Häusern dieses Sanierungsareals zu verbessern. Das wesentlichste Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen war, dass in einem beträchtlichen Teil der untersuchten Häuser aufgrund der lokalen Unterdruckbewetterung eine deutliche Verbesserung der Radonsituation eingetreten ist. Bezogen auf alle untersuchten Häuser wurde die Radonkonzentration durch die lokale Bewetterungslösung im Mittel um 62 % gesenkt. Daraus wurde geschlossen, dass eine flächenhafte Bewetterungslösung*

nach dem Wirkprinzip „Herstellung eines Unterdrucks in den Grubenbauen“ für den gesamten Bergbaustandort Schneeberg-Neustädtel gute Erfolgsaussichten hat, das grubenbedingte Radonproblem in den Häusern der Stadt zu lösen. Die konzeptionellen Arbeiten am „Wetterprojekt Schneeberg“ haben 2011 den Status einer Vorplanung erreicht. Aufwändige Variantenuntersuchungen haben unter Berücksichtigung von bergbaulichen, wettertechnischen, umweltrelevanten und weiteren Bewertungskriterien eine anpassungsfähige Vorzugsvariante mit Lüfterstandorten an 3 Abwetteröffnungen der Grube ergeben. Im Interesse einer baldigen Verbesserung der nach wie vor nicht tolerierbaren Radonsituation in vielen Häusern der Stadt Schneeberg wird auf eine rasche Fortführung dieses Projektes gedrungen.

## Summary

The Schneeberg-Neustädtel mining site was in the past one of the most important mining sites of the Ore Mountains, with an almost 600 years lasting history of mining activities. Starting in the mid of the 15th century on the Schneeberg mountain for a long period plenty of Silber was recovered. After that mining of Cobalt, Nickel and Bismuth ore took place. From 1945 on the Soviet (later Soviet-German) stockholding company WISMUT mined intensively Uranium ore. With termination of mining activities in 1956, large-scale mining legacies were left on the site, in many cases immediately in residential areas of town Schneeberg. Only in the beginning of the nineties radon released from the legacies became a matter of public concern. Since then several investigations were carried out and different solutions were tested to manage the elevated indoor concentrations. It was realized that in many cases near-surface mining galleries cause high concentrations in houses directly above the galleries. Investigations revealed that the radon is transported by convective air movement from the mine galleries into the houses. This process is mainly driven by air density differences and the resultant natural buoyancy. Since high indoor radon concentrations were found in many houses, dispersed over larger areas of the town, in 2008 a project was launched to manage the mine-caused indoor radon. In its first state this project was an overall project, later it was tailored to meet the site-specific conditions of town Schneeberg. In the frame of this project it was identified that a ventilation solution based on the “principle of creation of an air depression in the mine” is the only feasible option to keep mine-caused radon in houses with reasonable efforts and at the same time with acceptable failure risks under control. This finding came up in the course of intensive investigations to develop a local ventilation system for the Kirchplatz area around the St. Wolfgang church in Schneeberg. At this place from 2007 on comprehensive investigations and remediation activities were implemented, with the goal to geo-technically stabilize the ground surface and with the simultaneous goal to improve the local radon situation in houses on the Kirchplatz. Measurements revealed, that after establishment of a local depression ventilation system in a considerable part of the houses an improvement of the indoor situation could be reached. Related to all investigated houses the radon concentration could in the mean be reduced by 62 %. From that it was concluded that an area-expanded application of a ventilation system based on the mine air depression principle is a promising solution to manage mine-caused indoor radon problems for the whole mining site Schneeberg-Neustädtel. In the frame of the “Schneeberg Ventilation Project” till 2011 the conceptual design of the ventilation system was developed. Comprehensive assessments of different ventilation options, whereby the site-specific mine conditions, the local ventilation constraints, environmental issues and other criteria were taken into account, arrived at an optimized ventilation system. It is based on three ventilators which create the depression in the mining galleries. Due to the in-acceptable high indoor concentrations observed in the houses a rapid continuation of the project is awaited.

## 1 Einleitung

Das Schneeberg-Neustädtler Revier war eines der bedeutendsten Bergbaureviere des Erzgebirges. Der Bergbau blickt auf eine nahezu 600-jährige Geschichte zurück. Nach bescheidenen Anfängen wurde ab Mitte des 15. Jahrhunderts auf dem Schneeberg reichlich Silber gefunden und es erscholl ein großes "Bergkgeschrey". Bereits 1477 sollen auf dem Schneeberg über 200 Zechen betrieben

worden sein. Später bildeten Kobalt-, Nickel- und Wismuterze die wirtschaftliche Grundlage des Bergbaus. Die letzte Hauptperiode des Bergbaues umfasste den Uranerzbau der SAG/SDAG WISMUT.

Zu den Hinterlassenschaften des jahrhundertealten Bergbaues zählen neben Halden und bergbaulichen Anlagen auch die umfangreichen Grubenhohlräume, welche sich auch unmittelbar im Stadtgebiet befinden. Während die tiefen Sohlen der Grube unter Wasser stehen, sind die oberhalb des wasserabtragenden Markus-Semmler-Stollns gelegenen, z. T. dicht unter der Tagesoberfläche befindlichen Grubenhohlräume dauerhaft ungeflutet. Neben der Gefährdung der Sicherheit der Tagesoberfläche geht von den tagesnahen Grubenhohlräumen auch ein radiologisches Problem aus: In dem stark bergbaulich beeinträchtigtem Untergrund kommt es aufgrund des natürlichen Auftriebs im Grubengebäude zu konvektiven Gastransportprozessen, die zu einer Freisetzung des unter Tage entstehenden radioaktiven Edelgases Radon-222 in einer Vielzahl von Häusern führen.

Die Radonproblematik wurde Anfang der 1990er Jahre erstmals öffentlich thematisiert und es wurden Untersuchungen angestrengt, um das Ausmaß des radiologischen Problems zu charakterisieren. Es wurde schnell klar, dass die radiologische Situation einzigartig und dringend verbesserungsbedürftig ist. In den Folgejahren wurden in unterschiedlichen Beauftragungsverhältnissen Lösungen erprobt, wobei Maßnahmen an den betroffenen Gebäuden selbst, aber auch Maßnahmen an der Grube als dem eigentlichen Ursprung des Problems ergriffen wurden.

Im Rahmen des Verwaltungsabkommens zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Freistaat Sachsen zur Sanierung bergbaulicher Hinterlassenschaften an den WISMUT-Altstandorten wurde 2005 für Schneeberg ein Standortsanierungskonzept [1] erarbeitet, welches die hohe Radonbelastung in den Häusern als das größte Umweltproblem identifizierte. Für die erforderlichen umfangreichen Sanierungsarbeiten unter Tage wurde daher die Maßgabe abgeleitet, neben der Sicherstellung des Strahlenschutzes der Beschäftigten auch auf eine Verbesserung der radiologischen Situation der Bevölkerung hinzuwirken. Im Zusammenhang mit den untertägigen Arbeiten wurden daher umfangreiche Untersuchungen zum Ausmaß und zu den Ursachen hoher Radonbelastungen in Häusern durchgeführt, mit denen der Grubeneinfluss auf die Radonsituation in den Häusern eindeutig als flächenhaftes Problem nachgewiesen wurde. Weiterhin erfolgten Pilotversuche zu einer lokalen wettertechnischen Lösung im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche. Aufgrund erster positiver Ergebnisse und ebenfalls positiver Erfahrungen der WISMUT am Standort Schlema-Alberoda wurde 2008 vom Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit das Projekt „Konzept zur Beherrschung der grubenbedingten Radon-Situation in Bad Schlema und Schneeberg“ initiiert, welches ab 2010 als Wetterprojekt Schneeberg weitergeführt wurde.

Das Problem einer hohen grubenbedingten Radonbelastung in Häusern ist für die Stadt Schneeberg nach wie vor aktuell. Gerade vor dem Hintergrund der sich verschärfenden Empfehlungswerte europäischer und internationaler Gremien bezüglich des Radons in Wohnungen nimmt die Dringlichkeit einer Lösung des bergbaubedingten Radonproblems zu.

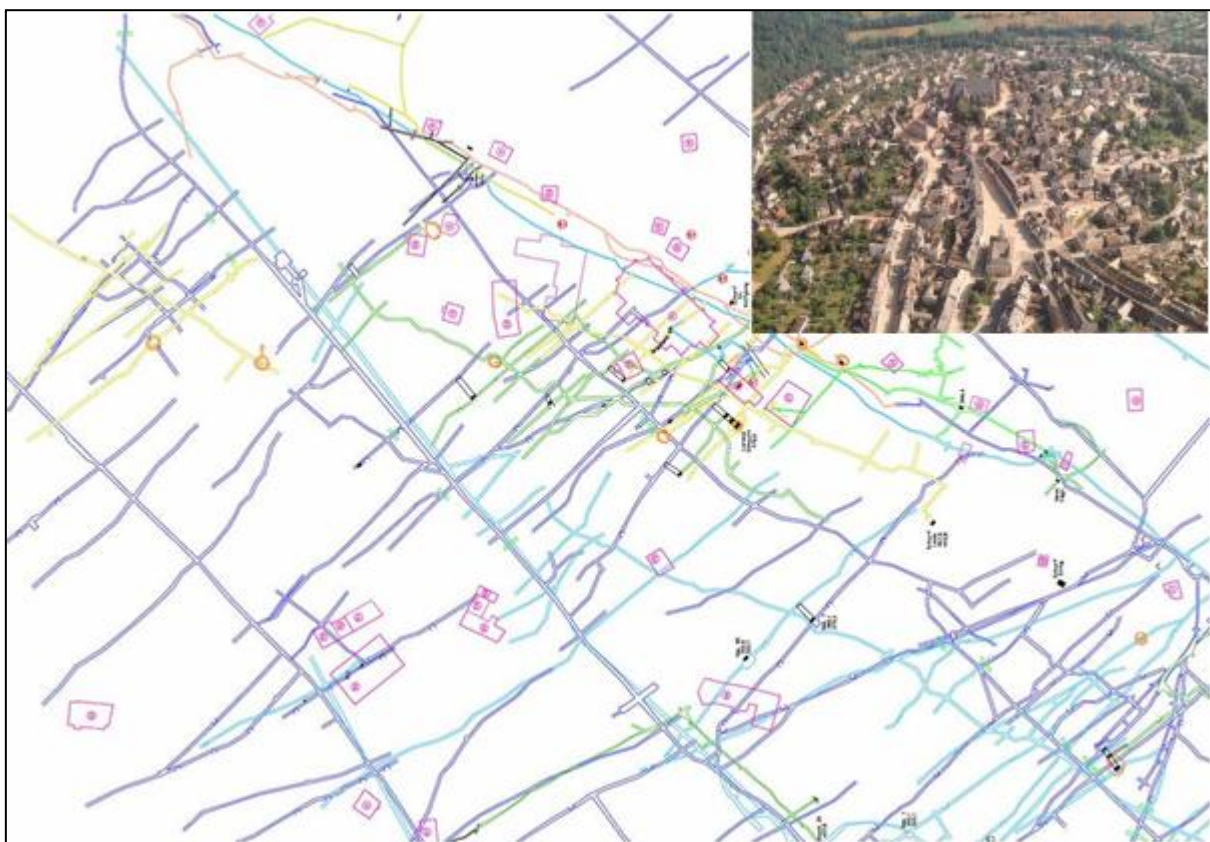
## **2 Bergbauliche und radiologische Situation in Schneeberg**

Bei der Lagerstätte Schneeberg-Neustädtel handelt es sich um eine große Gangerzlagerstätte [2]. Ihre Ausdehnung beträgt etwa 7 km in N-S-Richtung und ca. 4 km in W-E-Richtung. Insgesamt wurden mehr als 200 erzführende Gänge bekannt, die im Laufe der Jahrhunderte je nach wirtschaftlicher Lage und technischem Entwicklungsstand abgebaut wurden. Die meist relativ steil stehenden, überwiegend in NNW-SSE- sowie in WNW-ESE-Richtung verlaufenden Erzkörper, die so genannten Gänge, besitzen eine Längs- und Tiefenerstreckung von durchschnittlich etwa 200 m bis 250 m. Die mittlere Gangmächtigkeit liegt bei etwa 0,5 m. Erzanreicherungen wurden insbesondere im Kreuzungsbereich der beiden Gangsysteme angetroffen.

Die Vererzung stellt sich recht unterschiedlich dar: Typisch ist eine Anreicherung hochwertiger Silbererze im Einflussbereich des Luftsauerstoffs bzw. sauerstoffreichen Wassers bis in ca. 50 m bis 100 m Tiefe. Hier wurde insbesondere in den ersten Jahrzehnten bzw. Jahrhunderten ein intensiver Abbau betrieben, z. T. auch im Tagebau. In größerer Tiefe dominieren die Kobalt- und Nickelerze, deren Gewinnung ab Mitte des 16. Jahrhunderts in den Vordergrund trat. Die ebenfalls vorhandenen Uran-

erze wurden, da sie nicht genutzt werden konnten, zunächst in alte Abbaue versetzt bzw. auf die Halden geworfen. Sie wurden erst ab 1935 Gegenstand des Interesses.

Mit Beginn der Untersuchungsarbeiten auf Uranerze durch die UdSSR nach dem Ende des 2. Weltkrieges wurde eine kurze, aber sehr intensive Bergbauperiode eingeleitet, die bis 1956 währte. In dieser Zeit wurden von der SAG/SDAG WISMUT insgesamt etwa 210 t Uran gefördert, ein in Bezug auf den bergbaulichen Aufwand bescheidenes Ergebnis: Immerhin waren 24 Tagesschächte sowie 23 Schürfe und Stollen angelegt bzw. vom historischen Bergbau übernommen, die Flanken der Lagerstätte neu erschlossen, das vorhandene Grubengebäude mit einem schachbrettartigen System aus Querschlägen und Gangstrecken überfahren und die Bergarbeiten bis in eine Tiefe von 400 m geführt worden. Hieraus resultiert eine enge Verquickung des Altbergbaus früherer Betriebsperioden mit den Grubenbauen des WISMUT-Bergbaus. Dass die Abbautätigkeit auch unmittelbar im Stadtgebiet erfolgte, zeigt ein Rissausschnitt für das Stadtzentrum, auf dem nur die ungefluteten tagesnahen Sohlen dargestellt sind (Abb. 1):



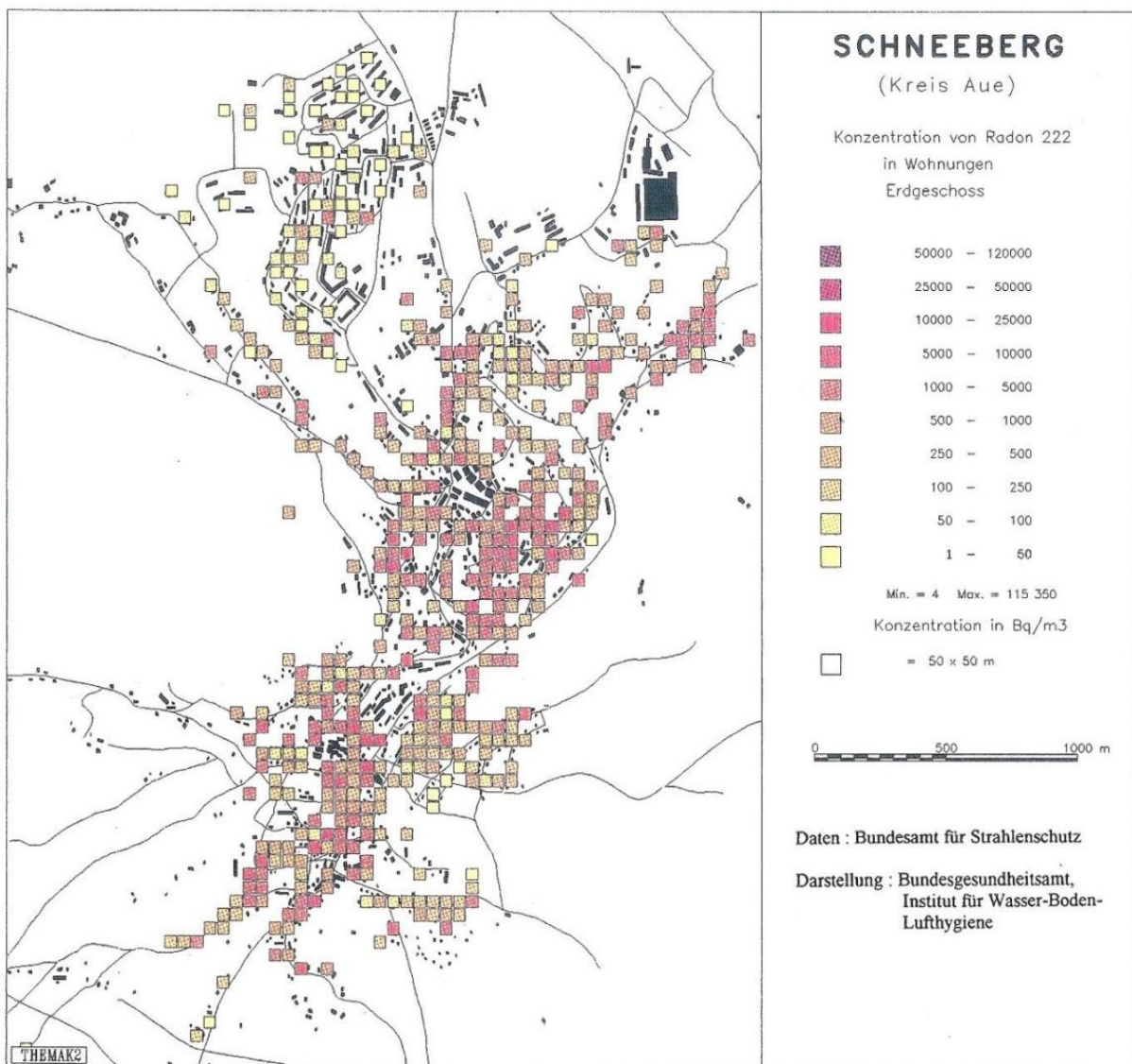
**Abb. 1:** Untertägige Situation im Stadtzentrum der Bergstadt Schneeberg, Luftbildansicht

Nach der Einstellung des Bergbaus wurde die Grube bis zum Niveau des wasserabführenden Markus-Semmler-Stollns geflutet, die Schächte wurden verwahrt und die Betriebsgebäude liquidiert. Teilweise wurden auch die Halden profiliert und begrünt. Oberhalb des Flutungspegels verblieb ein luftegefüllter Grubenhohlraum von etwa 2,1 Mio m<sup>3</sup>, wie Tracergasuntersuchungen im Jahr 2009 ergaben [3]. Neben einer unbekanntenen Anzahl von Schächten, Schürfen und Stollen umfassen die bergbaulichen Hinterlassenschaften mehr als 150 heute noch erkennbare Halden [4].

Dass in den Schneeberger Grubenwettern sehr hohe Radonkonzentrationen vorliegen, ist spätestens seit 1924 bekannt [5]. Im Jahr 1940 finden Rajewsky und Hueck [6] in der durch hohe Radonkonzentrationen in den Wettern bedingten hohen Strahlenexposition die Ursache der bereits 1534 von Paracelsus beschriebenen Bergsucht der Bergleute (Schneeberger Krankheit). Die aus der Literatur bekannten hohen Radonkonzentrationen in den Grubenwettern Schneebergs von 40.000 Bq/m<sup>3</sup>

bis über 600.000 Bq/m<sup>3</sup> [7], [8] konnten durch eigene Messungen in der Größenordnung bestätigt werden. Maßgeblich für diese hohen Radonkonzentrationen ist vor allem die Radonfreisetzung aus den Bruchräumen und aus den mit taubem Gestein verfüllten Abbauen. Den geologischen und bergbaulichen Bedingungen entsprechend sind auch die Bodenradonkonzentrationen z. T. sehr hoch, hier wurden in 1 m Tiefe Spitzenwerte bis 1.000.000 Bq/m<sup>3</sup> gemessen.

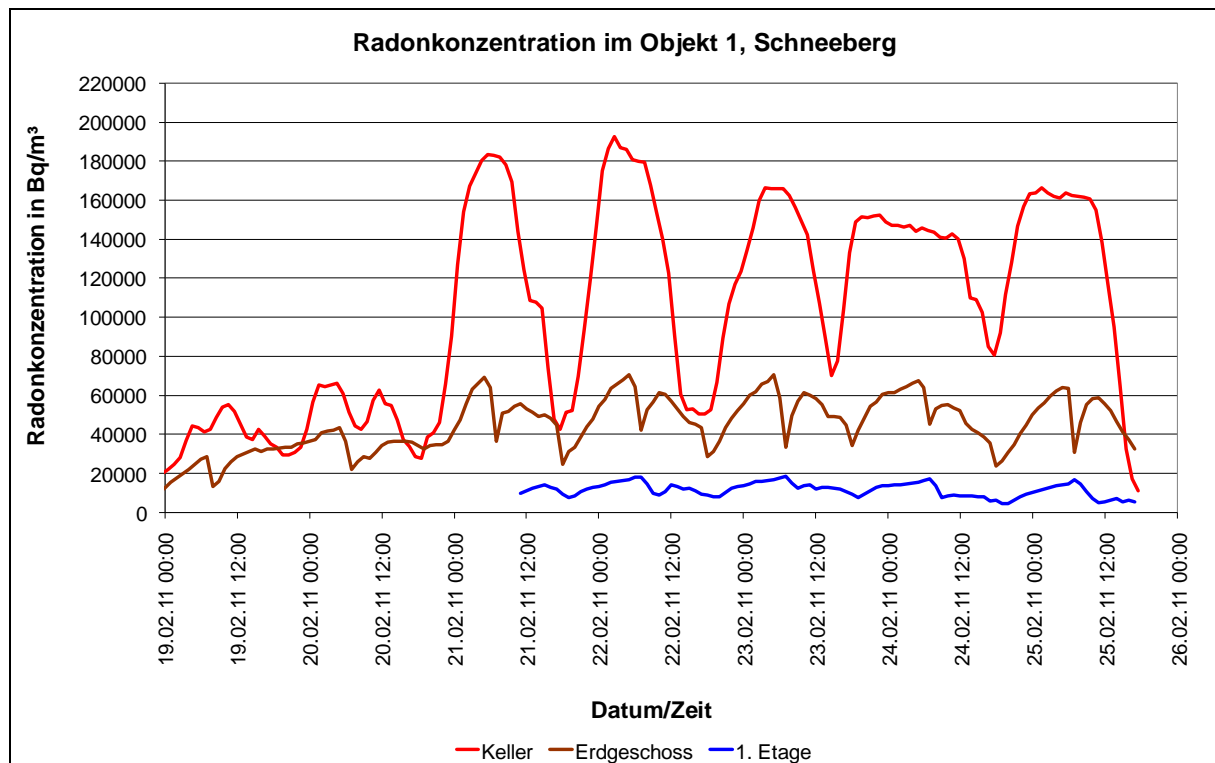
Bereits hier wird deutlich, dass in grubenbeeinflussten Häusern unter ungünstigen Umständen sehr hohe Radonkonzentrationen erreicht werden können. Entsprechende Ergebnisse erbrachten dann auch die im Jahr 1990 vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes durchgeführten Screening-Messungen der Radonkonzentration in den Häusern von Schneeberg, wie die nachfolgende Abb. 2 verdeutlicht:



**Abb. 2:** Radonkonzentrationen in Häusern der Stadt Schneeberg, Ergebnisse der Messungen im Erdgeschoss [9]

Die höchste im Erdgeschoss gemessene Radonkonzentration betrug hierbei etwa 115.000 Bq/m<sup>3</sup>. In den Kellerräumen wurden tendenziell höhere Radonkonzentrationen festgestellt.

In der Abb. 3 sind beispielhaft die Ergebnisse aktuellerer zeitaufgelöster Radonmessungen während einer Untersuchungskampagne im Jahr 2011 für ein Haus auf dem Stadtberg dargestellt. Für dieses Haus wurde mit Hilfe von Tracergas nachgewiesen, dass nahezu das gesamte Radon seinen Ursprung in der Grube hat. Deutlich ist hier eine typische Abstufung der Radonkonzentration über die Etagen zu erkennen, bedingt durch einen eingeschränkten Transport innerhalb des Hauses und den stattfindenden Luftwechsel mit der Außenluft. Die tageszeitliche Dynamik der Radonkonzentration wird vom tageszeitlich schwankenden natürlichen Auftrieb dominiert.



**Abb. 3:** Radonkonzentrationen in den einzelnen Etagen eines Hauses auf dem Stadtberg von Schneeberg

Vergleichbare Radonsituationen sind insbesondere in alten Häusern keineswegs selten anzutreffen. Auch hatten die nach 1990 ergriffenen baulichen Erneuerungen an den Häusern (Einbau neuer Fenster und Türen, Wärmedämmung der Gebäude, Liquidierung der Öfen und Einbau von Heizungen) infolge der Verringerung des Luftwechsels und der Veränderung der Auftriebssituation im Gebäude häufig negative Auswirkungen auf die Radonsituation.

### 3 Kenntnisstand

In den vergangenen Jahren wurden große Anstrengungen unternommen, um die in den Häusern bestehende Radonsituation zu erfassen, die Herkunft des Radons und die Transportmechanismen sowie das Systemverhalten zu ergründen und Lösungsansätze zur Beherrschung der Radonsituation in den Häusern zu entwickeln.

In der Tab. 1 sind die seit 1990 durchgeführten Projekte zu dieser Problematik zusammengestellt:



**Tab. 1:** Chronologie der Projekte in Schneeberg

Jahr	
1990	Flächenhafte Screening-Messung der Radonkonzentration in den Häusern von Schneeberg durch das BfS
1991 - 1995	Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg, einschließlich Großversuch der Beeinflussung der Radonkonzentration durch Grubenwetter , BMU und BfS [10]
1994	Vorlage der Forschungsstudie „Untersuchung über Möglichkeiten der gezielten Bewetterung im Schneeberger Grubenfeld zur Senkung der Radonbelastung der Bevölkerung“ durch das Bergtechnische Ingenieurbüro GEOPRAX [11]
1995	Antragstellung der Stadtverwaltung Schneeberg zum Fördervorhaben „Gezielte natürliche Bewetterung des Schneeberger Grubengebäudes zur Senkung der Radonbelastung in den Häusern der Stadt Schneeberg“ Fördermittelbewilligung durch das LfUG Gründung einer Arbeitsgemeinschaft zur Koordinierung und Abstimmung der Maßnahmen im Rahmen des Pilotprojektes „Natürliche Bewetterung“
ab 1995	Beginn der praktischen Realisierung des Pilotprojektes „Natürliche Bewetterung“ - bergmännische Arbeiten - ingenieurtechnische Begleitung - kontinuierliches Messprogramm der Radonverhältnisse
1996 - 2006	Jahresberichte über den Stand des Projektes „Natürliche Bewetterung“ [12] Ständige Messungen in ca. 68 Gebäuden, gezielte Messreihen an Punkten im Grubenraum und an Wetteröffnungen, Erfassung der Bodenradonkonzentration an 12 Messpunkten sowie Durchführung von Winter- und Sommerbewetterungsversuchen, bergmännische Arbeiten zur Realisierung der Wetterwege
2003 - 2005	Ergänzende Untersuchungen durch die WISMUT GmbH auf der Basis des Verwaltungsabkommens WISMUT-Altstandorte in Vorbereitung des Standortsanierungskonzeptes Schneeberg
2005	Vorlage des Standortsanierungskonzeptes Schneeberg [1], Beginn der Planungen für die Realisierung der prioritär zu bearbeitenden Vorhaben
2006	Abschlussbericht zum Pilotprojekt „Natürliche Bewetterung“, Darstellung der erreichten Möglichkeiten und Grenzen der natürlichen Bewetterung auf der Basis des bisher realisierten Bewetterungssystems [13]
ab 2007	Beginn der bergmännischen Arbeiten im Komplexen Sanierungsareal 2 Kirchplatz St. Wolfgangskirche, radiologische Begleitung des Vorhabens durch die WISMUT GmbH in Zusammenarbeit mit GEOPRAX Sicherung des im Pilotprojekt „Natürliche Bewetterung“ erreichten Standes durch Fortsetzung der Radonmessungen in den Häusern von Schneeberg und Neustädtel, Ausbau des Häusermessnetzes im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche zur Erfassung der Auswirkungen der bergmännischen Arbeiten

**Tab. 1 (Fortsetzung): Chronologie der Projekte in Schneeberg**

2008	<p>Etablierung eines standortübergreifenden Projektes „Konzept zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in Bad Schlema und Schneeberg“ auf Initiative des Sächsischen Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit [14]</p> <p>Übergang der Auftraggeberschaft der bergmännischen Arbeiten im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche von der WISMUT GmbH auf das Sächsische Oberbergamt, dadurch Koordinierung sämtlicher bergmännischer Arbeiten in Schneeberg durch das SOBA</p> <p>Die lokale Bewetterungslösung im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche erlangt vor dem Hintergrund des standortübergreifenden Projektes den Status eines Pilotprojektes für eine lokale wettertechnische Lösung des Radonproblems in Häusern</p>
ab 2008	<p>radiologischen Begleitung der bergmännischen Arbeiten im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche, Durchführung von Feldexperimenten zur Aufklärung der Herkunft des Radons, der Transportmechanismen und des Systemverhaltens sowie zum Nachweis der Wirksamkeit des Lösungsansatzes „Erzeugung eines grubenwärts gerichteten Druckgefälles“ durch die WISMUT GmbH und GEOPRAX in 2008, 2009 und 2011 [15], [16], [17]</p> <p>Bearbeitung des standortübergreifenden Projektes „Konzept zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in Bad Schlema und Schneeberg“ durch GEOPRAX und die WISMUT GmbH, Durchführung von Feldexperimenten zu Möglichkeiten einer wettertechnischen Kopplung der Gruben Schlema-Alberoda und Schneeberg in 2008 [18] und zur Beeinflussungssituation in Neustädtel in 2009 [3]</p>
2009	<p>Vorlage des Abschlussberichtes zum Projekt „Konzept zur Beherrschung der grubenbedingten Radonsituation in Bad Schlema und Schneeberg“ [19]</p>
2010	<p>Fortsetzung des Projektes am Standort Schneeberg unter dem Titel „Wetterprojekt Schneeberg“ im Status einer Vorplanung, Bearbeitung durch die WISMUT GmbH und GEOPRAX</p> <p>Etablierung eines Basismessprogramms zur Messung der Radonkonzentration in insgesamt 102 Häusern im gesamten Stadtgebiet, inklusive Messung der Radonkonzentration in der Grubenluft, in der Bodenluft und in der Außenluft an ausgewählten Messstellen sowie Erfassung der Wetterbewegung an Tagesöffnungen</p>
2011	<p>Vorlage des Abschlussberichtes zum Wetterprojekt Schneeberg [20]</p>

Die im Rahmen der umfangreichen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen und die hieraus abzuleitenden Schlussfolgerungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Radonmessungen in den Häusern Schneebergs und Neustädtels haben gezeigt, dass im gesamten Territorium der Stadt Schneeberg Häuser mit hohen bis sehr hohen Radonkonzentrationen existieren. Etwa 70 % der untersuchten Häuser wiesen in den Kellerräumen Radonkonzentrationen  $> 1.000 \text{ Bq/m}^3$  auf. In etwa 35 % lagen die Radonzentrationen im Keller z. T. erheblich über  $5.000 \text{ Bq/m}^3$ . Es handelt sich somit um eine nicht tolerable radiologische Situation.
- Anhand von Tracergasuntersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass etwa die Hälfte der untersuchten Häuser in Neustädtel und etwa zwei Drittel der untersuchten Häuser in Schneeberg spürbar von der Grube beeinflusst werden. Damit spielen konvektive Radontransportprozesse im bergbaulich beeinträchtigten Untergrund nachweislich eine dominierende Rolle für die Radonsituation in den Häusern. Die Anzahl und räumliche Verteilung der grubenbeeinflussten Häuser lassen die Aussage zu, dass in Schneeberg und Neustädtel ein flächenhafter Grubeneinfluss auf die Radonsituation in den Häusern besteht.

- Die Druckverhältnisse zwischen Grube und Haus sind die Triebkraft für den konvektiven Radontransport in Häuser. Besteht im Untergrund ein zutage gerichtetes Druckgefälle, so können in Häusern, die sich im Einflussbereich von tagesnahen Grubenbauen befinden, extreme Radonkonzentrationen auftreten.
- Die anthropogenen Aufschüttungen im Stadtgebiet von Schneeberg, insbesondere die schon seit langem planierten und bebauten Althalden, stellen mit den von ihnen überschütteten Grubenbauen aus wettertechnischer Sicht ein System dar. Die teils grobstückigen, permeablen Aufschüttungen sind hierbei nicht nur ein flächenwirksamer Transportpfad für grubenbürtiges Radon, sondern auch selbst eine relevante Radonquelle.
- Die Verhältnisse an den einzelnen Messobjekten stellen sich räumlich und zeitlich sehr verschiedenartig dar. Maßgeblich sind:
  - die bauliche Situation und die Nutzungsverhältnisse des Hauses,
  - die Höhenlage des Hauses,
  - die Permeabilität des Untergrundes zwischen Grube und Haus
  - der wettertechnische Zustand der betreffenden tagesnahen Grubenbaue,
  - die meteorologischen Parameter.
- Aufgrund der flächenhaften Beeinflussung der Radonsituation in den Häusern durch die Grube wird ein flächenhafter Lösungsansatz favorisiert, der bei der Grube als der eigentlichen Ursache des Radonproblems in den Häusern ansetzt. Hierbei wird die Sicherstellung eines stabil grubenwärts gerichteten Druckgefälles durch künstliche Erzeugung eines Unterdrucks im Grubengebäude als einziger Lösungsansatz als geeignet angesehen, die grubenbedingte Radonsituation in den Häusern mit vertretbarem Aufwand und kalkulierbaren Risiken zu beherrschen. Allein durch Nutzung des natürlichen Auftriebes (natürliche Bewetterung des offenen Grubenhohlraumes) kann die Radonfreisetzung aus den nicht gefluteten Grubenhöhlräumen in die Häuser nicht beherrscht werden.

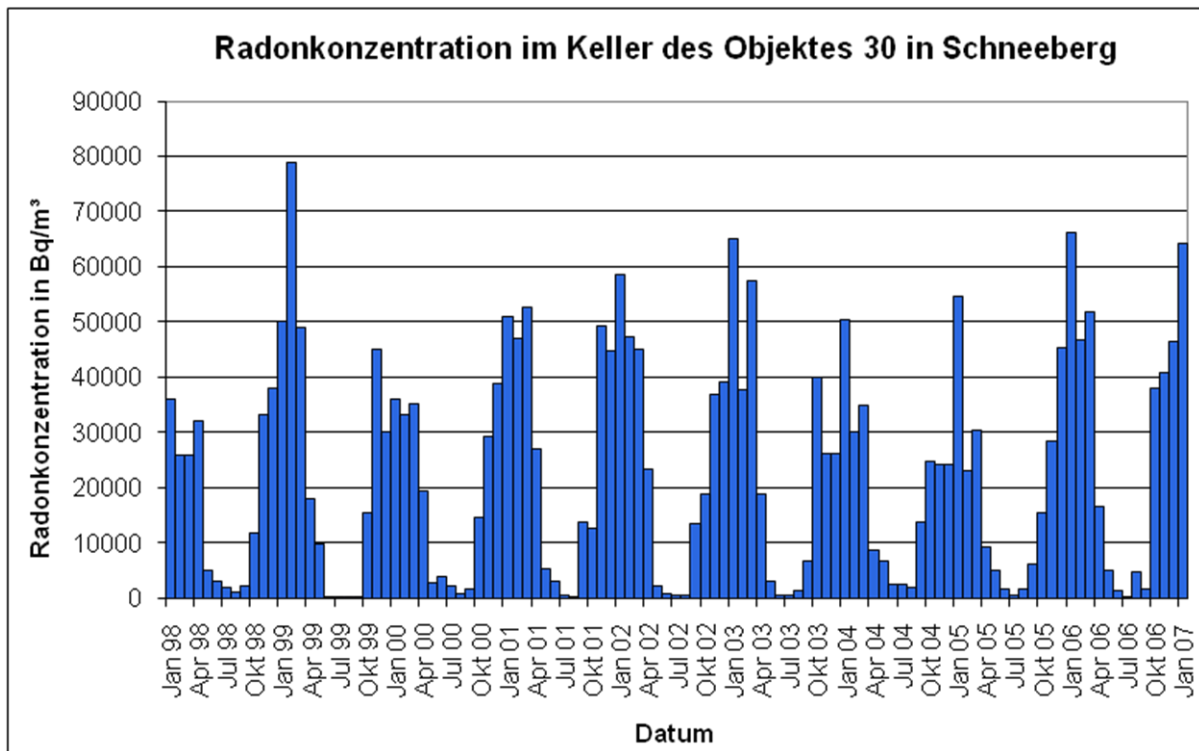
Eine wettertechnische Kopplung der Gruben Schlema-Alberoda und Schneeberg ist weder technisch noch wirtschaftlich sinnvoll und wurde daher als Variante einer wettertechnischen Lösung für den Standort Schneeberg verworfen. Die Leistungsverluste würden aufgrund der langen Wetterwege, der wettertechnisch ungünstigen untertägigen Anschlusssituation und der erheblichen zu bewegendenden Wettermengen einen unverhältnismäßig hohen Energieaufwand erfordern.

## **4 Pilotprojekt lokale Bewetterungslösung Kirchplatz St. Wolfgangskirche**

### **Bewetterungskonzept**

Seit 2007 werden im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche auf dem Stadtberg von Schneeberg umfangreiche Erkundungs- und Verwahrungsarbeiten durchgeführt. Die Arbeiten erfolgen im Auftrag des Projektträgers Altstandorte und des Sächsischen Oberbergamtes und werden von einer Arbeitsgemeinschaft aus der Bergsicherung Schneeberg GmbH und der Bergsicherung Sachsen GmbH vorgenommen. Ziel dieser Arbeiten ist zum einen die Herstellung der Sicherheit der Tagesoberfläche, zum anderen eine langfristige Verbesserung der radiologischen Situation in den von der Grube beeinflussten Häusern. Mit der wettertechnischen und radiologischen Begleitung dieser Arbeiten wurde die Abt. Monitoring/Strahlenschutz/Hydrologie der WISMUT GmbH beauftragt. Schwerpunkte dieser Arbeit sind die Sicherstellung zulässiger Strahlenschutzbedingungen unter Tage, die Beherrschung der Radonsituation in den von der Grube beeinflussten Häusern sowie die Schaffung von Voraussetzungen für eine dauerhafte Bewetterungslösung.

Das Sanierungsvorhaben unmittelbar im Scheitelbereich des Stadtberges von Schneeberg stellt bergmännisch und strahlenschutztechnisch eine Herausforderung dar: Hier begann im 15. Jahrhundert der Silberbergbau und hinterließ eine unüberschaubare Vielzahl von größtenteils unbekanntem Grubenbauen, Tagesöffnungen und Halden. Wettertechnisch stellt der Stadtberg eine lokale Hochlage dar, was sich auch in den im Winter stark erhöhten Radonkonzentrationen in den Häusern widerspiegelt (siehe Abb. 4). In den Grubenbauen, die in unterschiedlichstem Zustand angetroffen werden, liegen komplizierte wettertechnische Verhältnisse und sehr hohe Radonkonzentrationen vor.



**Abb. 4:** Verlauf der Radonkonzentration im Keller des Objektes 30 auf dem Kirchplatz

Um eine ausreichende Grubenbewetterung während der untertägigen Arbeiten sicherzustellen, wurde ein Bewetterungskonzept erarbeitet. Maßgebliches Kriterium war zum einen die Einhaltung zulässiger Strahlenschutzbedingungen für die Untertagebeschäftigten, zum anderen die Unterbindung zutage gerichteter Gastransportprozesse. Daher wurde eine durchgängige, saugende Hauptgrubenbewetterung konzipiert. In nicht durchgängig bewetterbaren Grubenbauen erfolgt eine blasende Sonderbewetterung. Als Abwetteröffnung wurde die im Rahmen des Pilotprojektes „Natürliche Bewetterung“ installierte Lutte im Turm der St. Wolfgangskirche vorgesehen, die über den Schacht vor St. Wolfgang mit der 445-m-Sohle verbunden ist. Die Lüfteranlage sollte zur Vermeidung von Lärmbeeinträchtigungen unter Tage unmittelbar am Fuß dieses Schachtes eingebaut werden. Die Wetterführung unter Tage war auf die Erzeugung eines stabilen Unterdruckes und die Sicherstellung ausreichender Wettermengen bei gleichzeitiger Minimierung der Radonzuflüsse auszulegen. Hierzu sollten der Arbeitsbereich vom übrigen Grubengebäude abgekoppelt, kurze Wetterwege eingehalten und die Unterdrücke im Arbeitsbereich optimiert werden. Zwecks Vorbereitung einer Bewetterungslösung zur langfristigen Beherrschung der Radonsituation in den Häusern wurde vorgesehen, relevante Grubenbaue im Rahmen der Erkundungs- und Verwahrungsarbeiten offen zu halten und als Wetterwege auszubauen.

Im Rahmen eines Bewetterungsversuches wurden der Wetterbedarf nach Strahlenschutzkriterien und wesentliche wettertechnische Parameter des Systems bestimmt. Auf dieser Grundlage erfolgte eine Wetternetzmodellierung für verschiedene Sanierungsphasen. Dabei wurden die Auslegungsparameter des Grubenlüfters ermittelt. In der Abb. 5 ist das Wetternetz dargestellt.

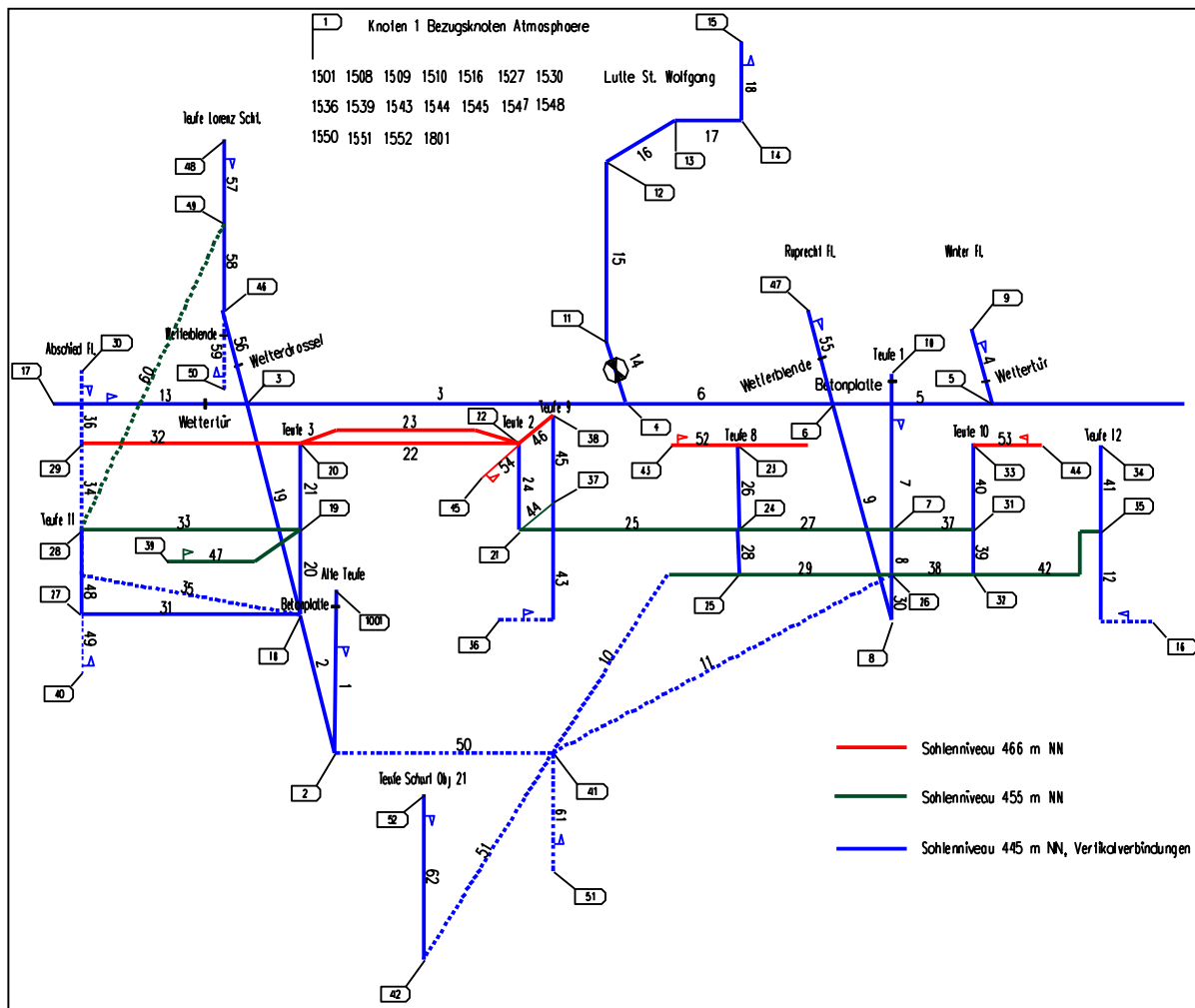


Abb. 5: Wetternetzmodell des lokalen Bewetterungssystems

## Ausführung

Im Oktober 2007 wurde am Fuß des Schachtes vor St. Wolfgang ein Grubenlüfter mit 30 kW Leistungsaufnahme installiert und es wurde mit den untertägigen Sanierungsarbeiten begonnen. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag zunächst auf dem Persival Mgg., der im Bereich von Gangkreuzen intensiv abgebaut worden war. In dem nicht risslich dokumentierten Gebiet östlich des Persival Mgg. wurde ebenfalls umfangreicher Altbergbau angetroffen, so dass bislang ca. 20 Teufen angelegt und umfangreiche Strecken und Abbaubereiche aufgewältigt und verwahrt wurden. Dabei wurde in den Sohlenniveaus des Altbergbaus in etwa 10 m und 20 m Teufe ein System von sogenannten Wetterröschchen angelegt und mit den Wetterwegen der 445-m-Sohle vernetzt. Die Abb. 6 und 7 vermitteln einen Eindruck von der Situation auf der Baustelle und von der Herstellung einer Wetterröschchen.



**Abb. 6:** Situation auf der Baustelle



**Abb. 7:** Ausbau einer Altstrecke als Wetterrösche

Durch die saugende Grubenbewetterung wird im Arbeitsbereich ein Unterdruck von 50 ... 150 Pa, je nach Anzahl der offenen Tagesverbindungen, erreicht. Der geförderte Wettervolumenstrom beträgt gut 6 m<sup>3</sup>/s. Die mit der Abführung der Abwetter verbundene Radonableitung liegt bei etwa 185 kBq/s. Dank der windexponierten Lage, der Höhe der Ableitöffnung (36 m) und der hohen Ausströmgeschwindigkeit sind mit der Ableitung keine erhöhten Radonkonzentrationen in der bodennahen Atmosphäre verbunden.

Dass die Grubenbewetterung ihren Zweck erfüllt, zeigen die Ergebnisse der regelmäßig durchgeführten untertägigen Messungen: Die untertägigen Radonzerfallsproduktkonzentrationen waren in der Regel ausgesprochen niedrig, temporär auftretende radiologische Schwierigkeiten konnten durch Anpassung der Wetterführung stets innerhalb kurzer Zeit gelöst werden.

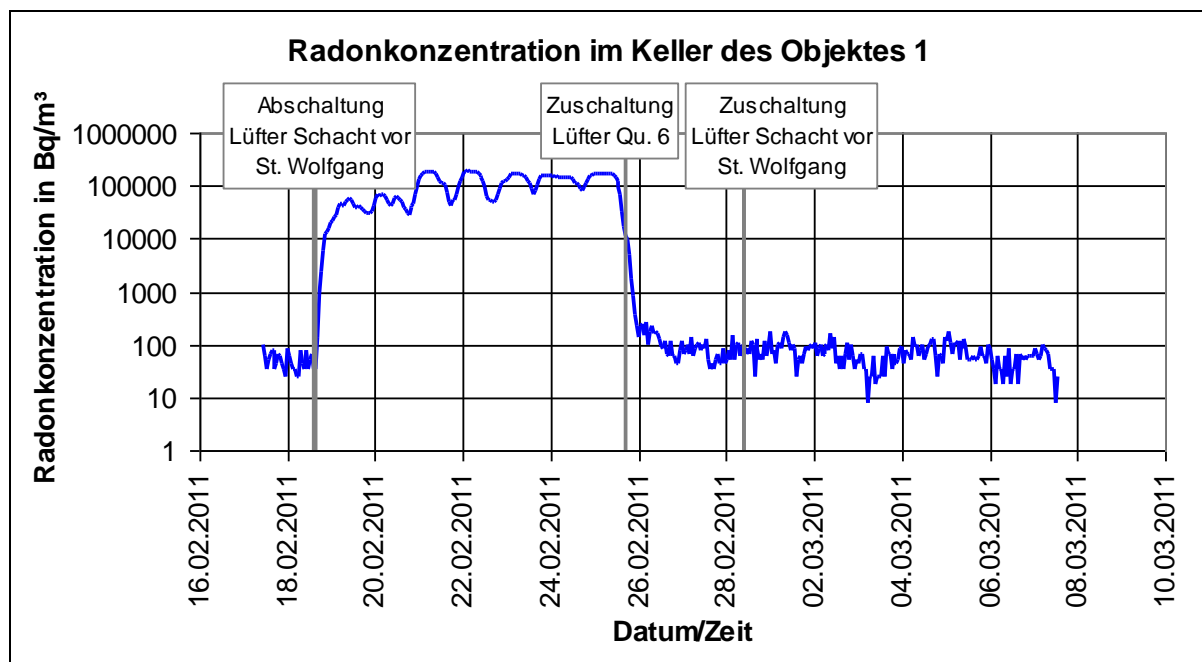
## **Bewetterungsversuch**

Inwieweit sich die lokale Grubenbewetterung auf die Radonsituation in den Häusern auswirkt, konnte während der laufenden Arbeiten nur bedingt bzw. in wenigen Objekten geprüft werden. Daher wurden nach Abschluss der bergmännischen Arbeiten im 1. Bauabschnitt Anfang 2011 Untersuchungen zum Einfluss der Unterdruckbewetterung auf die Radonsituation in den Häusern vorgesehen. Neben der Prüfung von Funktion und Wirksamkeit der Unterdruckbewetterung stand die Ableitung von Schlussfolgerungen für den weiteren Fortgang der Arbeiten im Focus des Bewetterungsversuches.

Das Versuchskonzept sah vor, die Untersuchungen im Winter und damit in dem Zeitraum mit dem größten Grubeneinfluss auf die Radonsituation in den Häusern durchzuführen. Es war zunächst eine Versuchsphase unter natürlichen Auftriebsbedingungen (Lüfter aus) geplant. In der 2. Versuchsphase sollte die Bewetterungssituation und die Radonsituation in den Häusern bei betriebener Bewetterung untersucht werden. Der Wechsel der Versuchsbedingungen sollte den Nutzeffekt der Bewetterung sichtbar machen.

In dem ca. 3 Wochen umfassenden Untersuchungszeitraum wurden umfangreiche kontinuierliche und stichprobenartige Messungen durchgeführt. Ein Schwerpunkt waren die zeitaufgelösten Radonkonzentrationsmessungen in den Kellern von insgesamt 36 Häusern im Beeinflussungsgebiet der untertägigen Sanierungstätigkeit. Einen weiteren Schwerpunkt stellten die breit angelegten Tracergasuntersuchungen in den Häusern dar. Schließlich wurden zahlreiche Wettermengen- und Differenzdruckmessungen an Tagesverbindungen vorgenommen.

In der 1. Versuchsphase unter natürlichen Auftriebsbedingungen stellte sich in der Grube ein leichter Überdruck von 2 ... 15 Pa ein. Die hierdurch hervorgerufenen konvektiven Gastransportprozesse im Untergrund bewirkten in vielen Hauskellern hohe Radonkonzentrationen. Der Mittelwert über alle untersuchten Gebäude lag bei 12.500 Bq/m<sup>3</sup>, in einzelnen Häusern wurden mittlere Radonkonzentrationen von 50.000 ... 100.000 Bq/m<sup>3</sup> registriert. Dieser Zustand ist als wintertypischer Normalzustand anzusehen. Durch die Inbetriebnahme der Lüfter zu Beginn der 2. Versuchsphase wurde im lokalen Bewetterungssystem ein Unterdruck von etwa 70 Pa erreicht. Die Reaktion der Radonsituation in den Häusern war sehr unterschiedlich: In 42 % der untersuchten Häuser wurde eine deutliche Verbesserung der Radonsituation festgestellt; in der Hälfte dieser Häuser wurden sogar zufriedenstellende Radonkonzentrationen im Keller (< 1.000 Bq/m<sup>3</sup>) erreicht. Ein Beispiel für ein solches Objekt ist in der Abb. 8 dargestellt. 11% der untersuchten Häuser wiesen offenbar keinen Grubeneinfluss auf; hier war die Radonsituation ebenfalls zufriedenstellend. In den übrigen Häusern war kein eindeutiger Einfluss der Unterdruckbewetterung feststellbar. Bezogen auf alle untersuchten Häuser wurde die Radonkonzentration durch die lokale Bewetterungslösung im Mittel um 62 % gesenkt. Betrachtet man nur die Häuser, deren Radonsituation von der Bewetterung positiv beeinflusst wird, so beträgt die Reduzierung der Radonkonzentration sogar 77 %.



**Abb. 8:** Radonkonzentration im Keller des Objektes 1 auf dem Kirchplatz

Durch gezielte Tracergasuntersuchungen konnte die beobachtete Verbesserung der Radonsituation eindeutig auf die Unterdruckbewetterung zurückgeführt und quantifiziert werden. Nach der Aufgabe einer genau bemessenen Menge von Tracergas in den Kellern aller untersuchter Häuser konnten durch periodische Messungen der Tracergaskonzentration und der Wettermenge an den Abwetteröffnungen die in die Grube gelangte Tracergasmenge bilanziert werden. Demnach wurden 9 % des in den Häusern aufgegebenen Tracergases in den Grubenwettern wiedergefunden. Unter Ansatz einer realistischen Luftwechselrate in den Kellern ergibt sich ein Volumenstrom abgesaugter Kellerluft von 85 ... 140 m<sup>3</sup>/h. Es wurde festgestellt, dass der nordöstliche Kirchplatz besser an das lokale Bewetterungssystem angekoppelt ist als der südwestliche Bereich.

Die betroffenen Hauseigentümer standen den Untersuchungen sehr aufgeschlossen gegenüber. In Bürgergesprächen wurden sie über das Versuchsprogramm und über die jeweiligen Messergebnisse informiert. Dabei wurde ein reges Interesse an den Ergebnissen und an der Fortentwicklung des Projektes deutlich.

## Fazit

Im Ergebnis der durchgeführten experimentellen Untersuchungen konnten folgende Feststellungen getroffen bzw. Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

Im Bereich des komplexen Sanierungsareals Kirchplatz St. Wolfgangskirche konnte die Radonsituation in den Häusern bereits im Bauabschnitt 1 spürbar verbessert werden.

Maßnahmen zur Sicherung der Tagesoberfläche stehen nicht im Widerspruch zu einer Verbesserung der Radonsituation in grubenbeeinflussten Häusern. Durch eine gezielte wetter- und strahlenschutztechnische Planung und Begleitung der Sanierungsvorhaben können die geotechnisch-bergbaulichen Belange mit den Interessen des Strahlenschutzes in Übereinstimmung gebracht werden.

Die Unterdruckbewetterung ist unter den spezifischen Bedingungen in Schneeberg als Lösungsansatz zur langfristigen Beherrschung der Radonsituation in den grubenbeeinflussten Häusern geeignet und erfolgversprechend. Insofern hat dieses lokale Projekt Pilotcharakter bezüglich einer Lösung des flächenhaft vorhandenen Radonproblems in Schneeberg.

Bei der Fortsetzung der Sanierungsarbeiten ist ein Hauptaugenmerk auf die Wechselwirkungen zwischen der Grube und den anthropogenen Aufschüttungen, insbesondere den geplanten Althalden,



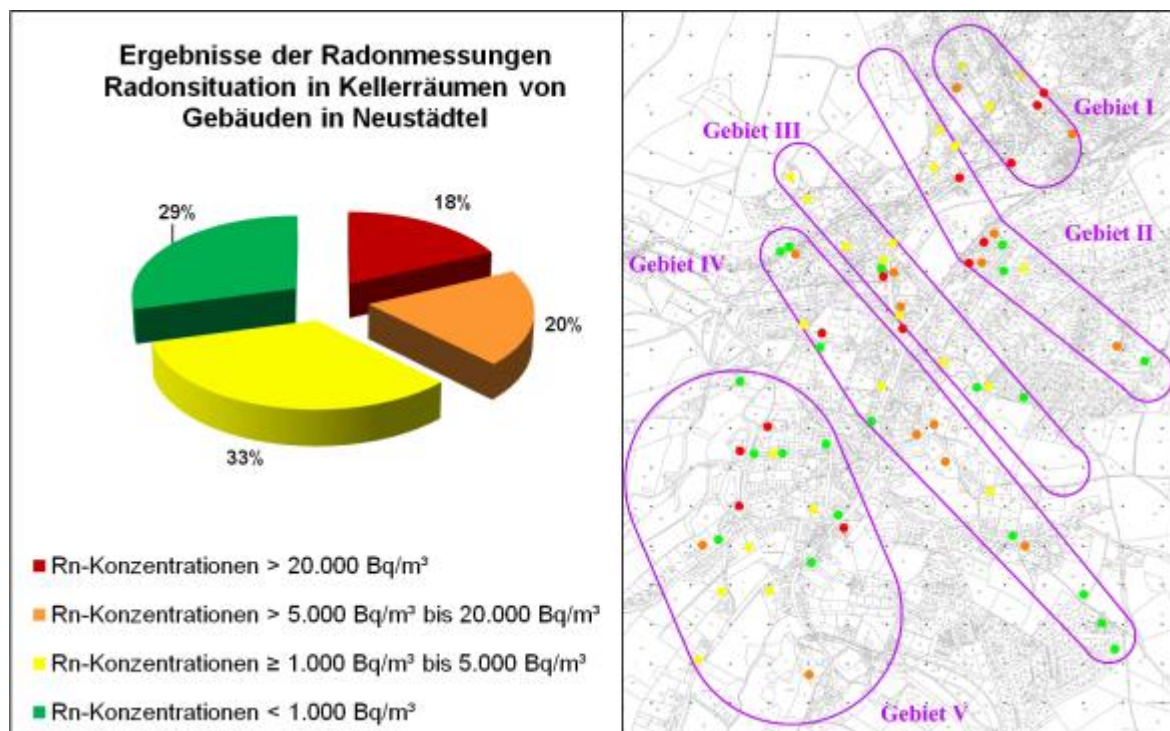
zu legen. Eine Entkopplung von Grube und Baugrund ist zu vermeiden. Entsprechend müssen die Verwahrungstechnologien an die Erfordernisse des Radonschutzes angepasst werden.

## **5 Das Wetterprojekt Schneeberg – erreichter Stand und Perspektiven**

Ausgehend von den positiven Untersuchungsergebnissen im Sanierungsareal Kirchplatz St. Wolfgangskirche, wurden ab 2010 weitere Untersuchungen und konzeptionelle Arbeiten am Wetterprojekt Schneeberg durchgeführt. Die von GEOPRAX und der WISMUT GmbH durchgeführten Arbeiten wurden wie schon zuvor in der ersten Bearbeitungsphase von einer Projektgruppe, bestehend aus Vertretern des Sächsischen Oberbergamtes, des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und des Projektträgers Altstandorte der WISMUT GmbH, koordiniert. Die Leitung der Projektgruppe hatte das Sächsische Oberbergamt inne. Im September 2011 wurde ein Abschlussbericht zum Wetterprojekt Schneeberg vorgelegt, der den Status einer Vorplanung hat.

Die Projektaufgabe bestand darin, verschiedenen Varianten einer flächenhaften Bewetterungslösung zu prüfen und zu bewerten und eine ausreichend anpassungsfähige Vorzugsvariante abzuleiten. Diese Vorzugsvariante sollte auf der Basis der aktuellsten Untersuchungsergebnisse vertiefend betrachtet werden. Bei der Bearbeitung wurde von folgenden Prämissen ausgegangen:

- In Schneeberg ist der Einfluss der Grube auf die Radonsituation in Gebäuden flächenhaft ausgeprägt (siehe Abb. 9)
- Bei der Erarbeitung der wettertechnischen Lösung ist daher ein flächenhafter Lösungsansatz nach dem Wirkprinzip „Erzeugung eines Unterdrucks in den Grubenbauen“ zu verfolgen. Lokale wettertechnische Lösungen sind nicht zielführend.
- Als Hauptwettersohle kommt aufgrund ihrer Tagesnähe, ihrer flächenhaften Ausbildung und ihrer Vernetzung die Fürstentollnsohle in Betracht. Die anderen Sohlen, insbesondere die Markus-Semmler-Stollnsohle, erfüllen ebenfalls wettertechnische Funktionen.
- Der Stadtberg von Schneeberg ist ein Schwerpunkt der Problemlösung. Die lokale Bewetterungslösung im Verwahrungsbereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche ist entsprechend zu integrieren.
- Favorisiert werden aus Redundanzgründen Varianten mit mehr als 2 Abwetteröffnungen.



**Abb. 9:** Darstellung der Radonkonzentrationen in den Kellerräumen Neustädtels

## Varianten

Es wurden insgesamt 9 verschiedene Varianten bzw. Untervarianten einer standortbezogenen wettertechnischen Lösung zur Beherrschung der Radonsituation in den Häusern von Schneeberg und Neustädtel untersucht. Hierbei wurden 2 Varianten mit zentralem Lüfterstandort, 4 Varianten mit 2 Lüfterstandorten und 3 Varianten mit 3 dezentralen Lüfterstandorten erarbeitet und einer Bewertung unterzogen. Insgesamt wurden 5 Tagesverbindungen als Abwetteröffnung und Lüfterstandort in die Betrachtung einbezogen.

Um die wettertechnische Funktionsfähigkeit herzustellen, müssen die als Abwetteröffnung und Lüfterstandort vorgesehenen Tagesverbindungen geöffnet und rekonstruiert werden. Alle anderen offenen Tagesverbindungen müssen zur Gewährleistung eines ausreichenden Unterdruckes in der Grube hingegen möglichst dicht verschlossen werden. Weiterhin ist es erforderlich, insbesondere auf der Fürstenstollnsohle als der Hauptwettersohle umfangreiche Streckenauffahrungen als Wetterwege zu rekonstruieren und herzurichten. Hierbei werden die so genannte Grundherrichtung, die allen Varianten gemeinsam ist, und die von Variante zu Variante verschiedenen Anschlussgrubenbaue unterschieden. Die zur gleichmäßigen Ausbreitung des Unterdruckes im gesamten Beeinflussungsgebiet notwendige Grundherrichtung umfasst allein etwa 12 km Grubenbaue und erfordert damit den bei weitem größten bergmännischen Aufwand.

Die Kostenschätzungen zur Herstellung des untertägigen Bewetterungssystems erfolgten auf der Basis des aktuellen Planungskatalogs bei Sanierungsaufgaben im Altbergbau unter Berücksichtigung der bei ähnlichen untertägigen Arbeiten in unbekanntem Grubenfeld gewonnenen Erfahrungen. Erwartungsgemäß dominiert die Grundherrichtung des Grubenfeldes die Herstellungskosten. Die Kostenunterschiede bei den einzelnen Lösungsvarianten werden durch die zusätzlich notwendigen Kosten zur Herstellung und zum Anschluss der Abweterschächte verursacht. Andere Kosten, bspw. die Kosten für die Errichtung der Lüfteranlagen, spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Durch Wetternetzrechnungen auf der Basis eines vereinfachten Wetternetzmodells für die Grube Schneeberg wurde die technische Machbarkeit der einzelnen wettertechnischen Lösungsvarianten geprüft und der jeweilige Energieaufwand für den Lüfterbetrieb abgeschätzt.

Bei der Abschätzung der langfristigen Betriebskosten wurden neben den infolge des Lüfterbetriebs anfallenden Energiekosten auch die Kosten für den Unterhalt der Lüfteranlagen (Wartung, Reparaturen, Ersatz) und die Kosten für den Unterhalt des untertägigen Bewetterungssystems (Wetterwege, Wetterleiteinrichtungen) einbezogen. Die langfristigen Betriebs- und Wartungskosten werden durch die Kosten zur Unterhaltung der Grube dominiert.

## Bewertung

Die Bewertung der einzelnen Varianten einer flächenhaften wettertechnischen Lösung für Schneeberg und Neustädtel erfolgte nach einheitlichen Kriterien, die die Herstellungs- und Betriebskosten, die Realisierungsdauer, bergtechnische und wettertechnische Aspekte, Umweltschutzaspekte sowie sonstige Aspekte wie bspw. die Akzeptanz bei der Bevölkerung und der Stadt berücksichtigen. Insgesamt wurden 16 Kriterien erarbeitet, die teilweise quantitativer Art (bspw. Kosten), aber überwiegend qualitativer Art sind. Den Kriterien wurde je nach Bedeutsamkeit ein bestimmtes Gewicht beigemessen.

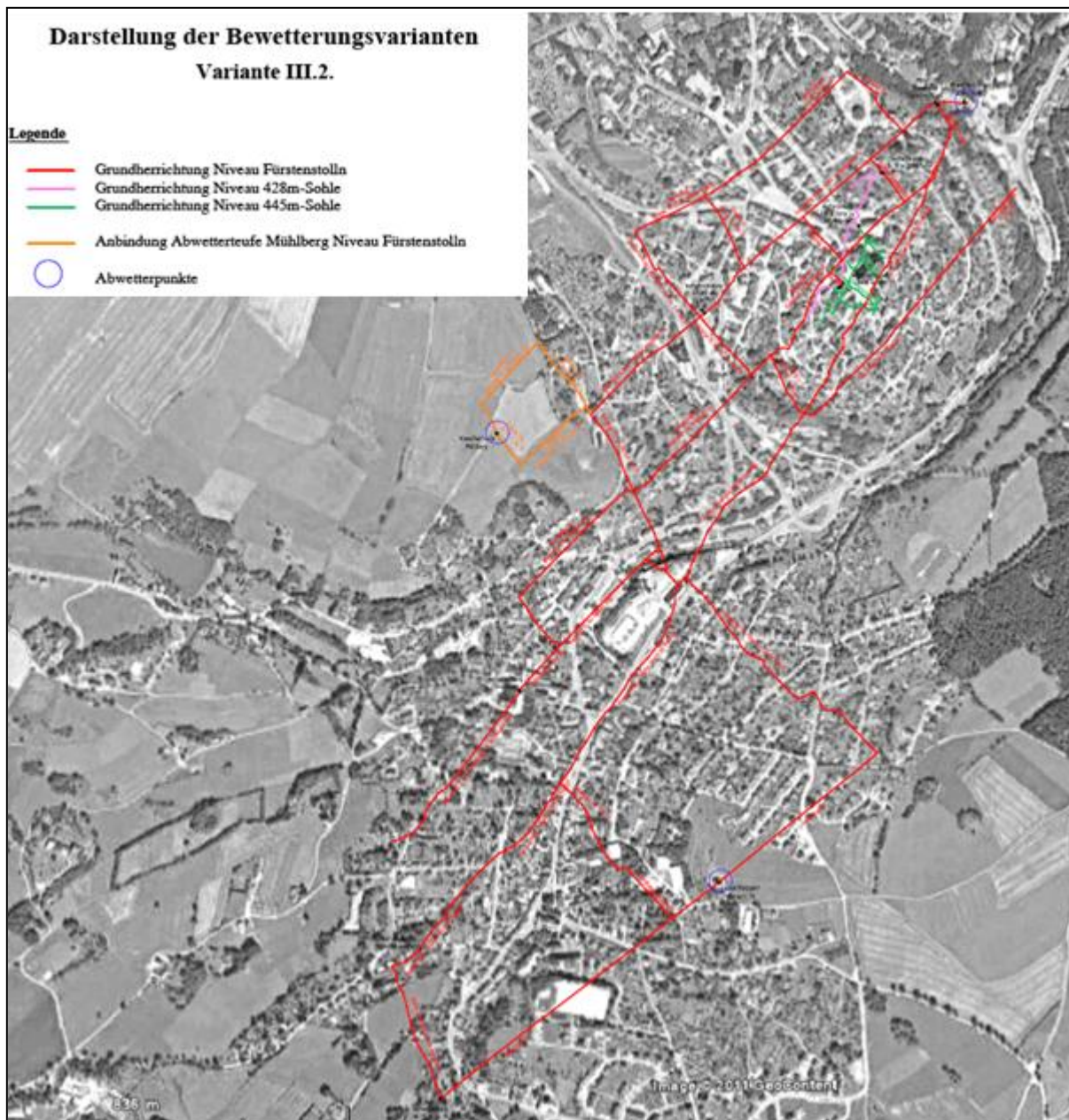
Die Beurteilung der Lösungsvarianten erfolgte als multikriterielle Punktbewertung in einem Abwägungsprozess, bei dem die individuellen Bewertungen aller beteiligten Bearbeiter gemeinsam diskutiert und eine Einigung herbeigeführt wurde. Die Ergebnisse dieser Punktbewertung (erreichte Gesamtpunktzahlen) für die untersuchten Bewetterungsvarianten sind in der nachfolgenden Tab. 2 zusammengestellt:

**Tab. 2:** Ergebnisse der Punktbewertung der untersuchten Bewetterungsvarianten

Lösungs- variante	Anzahl der Abwetteröffnungen	erreichte Gesamtpunktzahl (Skala 1 bis 5)
I.1.	Schacht A	3,4
I.2.	Schacht B	3,2
II.1.	Schacht C und Schacht A	3,4
II.2.	Schacht E und Schacht D (MSS, doppelte Anbindung)	2,7
II.2.a	Schacht E und Schacht D (MSS, einfache Anbindung)	2,7
II.2.b	Schacht E und Schacht D (FüStln, einfache Anbindung)	2,7
III.1.	Schacht E, Schacht C und Schacht D (MSS, einf. Anbindung)	3,0
III.1.a	Schacht E, Schacht C und Schacht D (FüStln, einf. Anbindung)	2,8
III.2.	Schacht E, Schacht C und Schacht A	3,1

Die erreichten Gesamtpunktzahlen der bewerteten Varianten liegen eng beieinander. Die höchsten Punktzahlen haben die Variante I.1. (Schacht A), die Variante I.2. (Schacht B) und die Variante II.1. (Schacht C und Schacht A) sowie die Variante III.2. (Schacht E, Schacht C und Schacht A) erreicht. Damit besitzen zwei Varianten mit einem Lüfterstandort und jeweils eine Variante mit 2 Lüfterstandorten und mit 3 Lüfterstandorten die höchste Präferenz. Für das Bewertungsergebnis erwiesen sich die Lage der Abweterschächte im Gelände und ihre untertägige wettertechnische Anbindung an das Grubenfeld als ausschlaggebend.

Die Bewertungsergebnisse wurden von der Projektgruppe und den Projektarbeitern eingehend diskutiert. Hierbei standen insbesondere die Vorteile der Redundanz und Anpassungsfähigkeit bei den Varianten mit mehreren Lüfterstandorten sowie die Vorteile eines schrittweisen Vorgehens bei der Projektumsetzung im Vordergrund. Im Rahmen dieser Diskussion wurde gemeinsam die Entscheidung zugunsten einer grenzläufigen Wetterführung mit mehreren Abwetterpunkten getroffen. Es wurde vereinbart, dass aufgrund ihrer integrierenden Wirkung die Variante III.2 als Vorzugsvariante weiter untersucht wird. In der nachfolgenden Abb. 10 ist das Netz der Wetterwege für die Variante III.2 dargestellt.



**Abb. 10:** Darstellung des Wetternetzes für die Vorzugsvariante III.2

## Vorplanung

Im Rahmen der Vorplanung wurde für die erforderlichen Maßnahmen und Arbeiten ein Ablaufplan erarbeitet. Die Arbeiten wurden in 4 Hauptetappen unterteilt, wobei nach Abschluss einer jeden Hauptetappe Untersuchungen zur Funktionsprüfung bzw. zum Nachweis der Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen vorgesehen sind. Für die Arbeiten wurde ein Realisierungszeitraum von insgesamt etwa 9 Jahren abgeschätzt.

Bestandteil der Vorplanung war neben der Konzipierung der Reihenfolge der bergmännischen Arbeiten auch die Konzipierung der Wetterführung während des Realisierungszeitraumes, die Abgrenzung zu ggf. parallel laufenden Erkundungsvorhaben bzw. Sanierungsvorhaben und die Abgrenzung zur Grube Schlema-Alberoda der Wismut GmbH. So ist es erforderlich, die notwendigen Bergsicherungsarbeiten im Stadtgebiet auf die künftige Bewetterungslösung auszurichten. In diesem Zusammenhang wird auf die Notwendigkeit von Untersuchungen hingewiesen, die die Anpassung der üblichen Verwahrungstechnologien bei Bergsicherungsarbeiten an die Erfordernisse des Radonschutzes in Häusern zum Gegenstand haben. Weiterhin sind auch die Maßnahmen zur dauerhaft sicheren Grubenwasserabführung über den Markus-Semmler-Stolln mit der Bewetterungslösung abzustimmen. Ein effektives Arbeiten und die Erschließung von Synergieeffekten setzt hier ein koordiniertes Vorgehen voraus. Weiterhin wurden auf der Grundlage von Ausbreitungsrechnungen Prognosen zur Immissionssituation im Umfeld der Abwetteröffnungen getroffen und erste Anhaltspunkte für die Ausführung der Ableitkamme gewonnen.

## Ausblick

Abschließend ist festzustellen, dass mit der erarbeiteten Vorzugsvariante eine ausreichend begründete, robuste sowie anpassungs- und optimierungsfähige Bewetterungsvariante zur Lösung des grubenbedingten Radonproblems in den Häusern von Schneeberg und Neustädtel vorliegt. Aufgrund des Projektumfanges und der mit Arbeiten im Altbergbau stets verbundenen Unwägbarkeiten wird empfohlen, die weitere Planung etappenweise fortzuführen. Eine wesentliche Rolle für das Gelingen des Projektes spielt eine durchgängige, kompetente ingenieurtechnische Begleitung des Vorhabens und die regelmäßige Prüfung des erreichten Arbeitsstandes. Die Fortsetzung der gegenwärtig laufenden Messungen im Rahmen des Basismessprogramms ist für die Fortführung des Wetterprojektes Schneeberg ebenfalls unerlässlich.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist der Fortgang des Wetterprojektes Schneeberg aufgrund der noch nicht erfolgten Verlängerung des Verwaltungsabkommens zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Freistaat Sachsen zur Sanierung bergbaulicher Hinterlassenschaften an den WISMUT-Altstandorten offen. Im Interesse einer baldigen Verbesserung der nach wie vor nicht tolerierbaren Radonsituation in vielen Häusern der Stadt Schneeberg wird auf eine rasche Fortführung dieses Projektes gedrungen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Bergsicherung Schneeberg GmbH: Sanierung von sächsischen Wismut-Altstandorten, Standortsanierungskonzept Schneeberg, Wismut GmbH, Chemnitz, November 2005
- [2] WISMUT GmbH (Hrsg.): Chronik der WISMUT - Mit erweitertem Sanierungsteil (1998– 2010), Chemnitz, 2011
- [3] WISMUT GmbH, GEOPRAX: Bericht zum Bewetterungsversuch in Schneeberg-Neustädtel, Chemnitz, Juni 2010
- [4] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster), 1991 – 1999

- [5] Ludewig, P., Lorensen, E.: Untersuchungen der Grubenluft in den Schneeberger Gruben auf den Gehalt an Radiumemanation, Zeitschrift für Physik Nr. 22 (1924), S. 178-185, 1924
- [6] Rajewsky, B., Hueck, W.: Bericht über die Schneeberger Untersuchungen, Zeitschrift für Krebsforschung Nr. 40 (1940), S. 312, 1940
- [7] Bychowskij, A. W., Tschesnokow, N. J., Chatschirow, Dj. G.: Über die Gefahr durch Radon bei bergmännischer Tätigkeit in Uran- und anderen Erzbergwerken (russ.), Hygiene und Sanitätswesen Nr. 5 (1970), S. 40 – 44, 1970
- [8] Holstein, E.: Grundriß der Arbeitsmedizin (5. Auflage), Barth Verlag Leipzig, 1969
- [9] Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes (BGA), 1990
- [10] Hamel, P., Lehmann, R., Kube, G., Couball, B., Leißring, B.: Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz 464 - BfS - ST - 10/1996, BMU 1996
- [11] Leißring, B. et al.: Studie: Untersuchung über Möglichkeiten der gezielten Bewetterung im Schneeberger Grubenfeld zur Senkung der Radonbelastung der Bevölkerung, Schneeberg, 1994
- [12] Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX: Jahresberichte zur Maßnahme: Gezielte natürliche Bewetterung des Schneeberger Grubengebäudes zur Senkung der Radonbelastung in den Häusern der Stadt, Teile 1996 bis 2005, Schneeberg, 1997 bis 2006
- [13] Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX: Abschlussbericht zur Maßnahme: Gezielte natürliche Bewetterung des Schneeberger Grubengebäudes zur Senkung der Radonbelastung in den Häusern der Stadt“, Chemnitz, Dezember 2006
- [14] Projekt „Konzept zur Entwicklung und Optimierung von technischen Lösungen für die langfristige Beherrschung des Einflusses offener Grubenbaue auf die Radonsituation in Häusern unter besonderer Berücksichtigung der Grubenwasserlösung über den Markus-Semmler-Stolln, Kurztitel: Konzept zur Beherrschung der grubenbedingten Radon-Situation in Bad Schlema und Schneeberg, Chemnitz, 27.03.2008
- [15] WISMUT GmbH, GEOPRAX: Bericht über komplexe Untersuchungen zu den wettertechnischen Wechselwirkungen zwischen dem Grubengebäude und den Häusern im Rahmen der Strahlenschutzbegleitung der 1. Sanierungsetappe zur Grubenbauerkundung und -verwahrung im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche Schneeberg (KSA 2), Chemnitz, August 2008
- [16] WISMUT GmbH: Bericht über Untersuchungen zum Einfluss der lokalen Grubenbewetterung auf die Radonsituation in Häusern im Komplexen Sanierungsareal Kirchplatz St. Wolfgang (KSA 2) in Schneeberg, Bewetterungsversuch im April 2009, Chemnitz, Mai 2009
- [17] WISMUT GmbH: Abschlussbericht über Untersuchungen zur Radonsituation in Häusern im Bereich Kirchplatz St. Wolfgangskirche (KSA 2) in Schneeberg nach Abschluss des Bauabschnitts I, Chemnitz, Juli 2011
- [18] WISMUT GmbH: Abschlussbericht über einen Ventilationsversuch in Schneeberg im September 2008 - Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Beherrschung der grubenbedingten Radon-Situation in Bad Schlema und Schneeberg“, Chemnitz, Januar 2009
- [19] WISMUT GmbH, GEOPRAX: Abschlussbericht: Konzept zur Entwicklung und Optimierung von technischen Lösungen für die langfristige Beherrschung des Einflusses offener Grubenbaue auf die Radonsituation in Häusern unter besonderer Berücksichtigung der Grubenwasserlösung über den Markus-Semmler-Stolln, Chemnitz, Juni 2009
- [20] WISMUT GmbH, GEOPRAX: Abschlussbericht: Ingenieurtechnische Leistungen zur Umsetzung der „Technischen Ausführung Wetterprojekt Schneeberg“ im Status einer Vorplanung (Wetterprojekt Schneeberg), Chemnitz, September 2011

# AKTUELLER STAND DER RADONKARTIERUNG IN DEUTSCHLAND UND EUROPA

## STATUS OF RADON CARTOGRAPHY IN GERMANY AND IN EUROPE

Peter Bossew<sup>1)</sup>, Bernd Hoffmann<sup>1)</sup>

Valeria Gruber<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

<sup>2)</sup> European Commission, Joint Research Centre, Institute for Transuranium Elements, Ispra (VA), Italy

### **Zusammenfassung**

*Seit ungefähr 20 Jahren werden weltweit verschiedene Arten nationaler und regionaler Radonkarten hergestellt. Ihr genereller Zweck ist die Visualisierung der geographischen Verteilung von radonbezogenen Größen wie Konzentrationen in Innenräumen oder das geogene Radonpotential. Spezifischer, also abgesehen von der bloßen Darstellung des (möglichen) Problems, sollen solche Karten der Entscheidungshilfe dienen, beispielsweise hinsichtlich der Notwendigkeit weiterer regionaler Surveys oder von Maßnahmen der Radonvorsorge. Kriterien dafür werden aus Referenzwerten für Radonkonzentration in Innenräumen abgeleitet. In diesem Beitrag wird eine kurze Übersicht über Radonkartierung in Deutschland und auf europäischer Ebene gegeben.*

### **Summary**

*For about 20 years various kinds of radon maps have been produced in many countries and regions world wide. Their purpose is visualising the geographical distributions of levels of radon related quantities, such as indoor concentration or the geogenic radon potential. The rationale is, apart from displaying the problem – if any – graphically, identifying regions where more dense radon surveying, remediation or implementation of building codes adapted to abating the radon problem are deemed necessary, based on criteria derived from reference values of indoor concentrations. In this contribution we give an overview on existing and projected radon maps in Germany and on European level.*

## 1 Einleitung: Rationale der Radonkartierung

In Deutschland, wie auch in anderen europäischen Ländern, ist Radonkartierung durch den Wunsch motiviert, Regionen erhöhten Radonrisikos auszuweisen, mit dem Zweck besonderer Vorsorgemaßnahmen und eventuell dichterere Surveys. Dies führt zum Konzept der „radon prone areas“ (RPA), das im weiten Zügen mit dem der „Radonvorsorgegebiete“ (RVG) übereinstimmt; beide sind allerdings bisher nicht exakt definiert. Während mit RPA eher ein Gebiet gemeint ist, in dem höhere Radonwerte (Innenraum-Konzentrationen, Bodenluft-Konzentration, Radonpotential) vorkommen, bezeichnet RVG eines, in dem Maßnahmen ergriffen werden sollten, z.B., strengere Baunormen, verstärkte Sanierung oder auch nur dichtere Surveys. Aus praktischen Gründen werden RVGe eher entlang administrativer Grenzen definiert, während RPAs allgemeiner physikalisch definiert sein können. Man tendiert zur Definition über Wahrscheinlichkeiten, dass Referenzwerte der Radonkonzentration in Wohnräumen überschritten werden. Es ist aber nicht klar, ob sich dies auf den Hausbestand bezieht (damit eine zeitlich variable Größe wäre), oder auf Standardräume- und häuser (wie immer definiert). Ein anderer Ansatz geht von einem geogenen Radonpotential aus (für das es auch keine autoritative Definition gibt), also einer von anthropogenen Faktoren unabhängigen Größe. Die Idee der RPAs ist in den letzten Entwurf der European Basic Safety Standards (BSS) der Europäischen Kommission (EC) eingeflossen (EC 2011), wobei sich das Konzept an relativen Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Innenraumkonzentration orientiert (Artikel 71: „Radon-prone area means a geographic area or administrative region defined on the basis of surveys indicating that the percentage of dwellings expected to exceed the national reference level is significantly higher than in other parts of the country“). EU-Mitgliedsländer wären demnach verpflichtet, identifizierte RPAs auszuweisen und zur Radon-Vorsorge einen Katalog von Maßnahmen als Konsequenz zu erarbeiten (laut Liste in Anhang XVI, EC 2011), und diesen nationalen „action plan“ (Artikel 103, EC 2011) an die EC zu berichten und regelmäßig zu aktualisieren.

In Deutschland hat in letzter Zeit die Debatte darüber an Schwung gewonnen, wie sinnvoll die Delineation solcher Gebiete überhaupt sei. Es wird eingewendet, dass die einfachste Maßnahme der Radonvorsorge die sorgfältige Beachtung von Bauvorschriften sei, die überregional implementiert die Mühe der Ausweisung von RVGen oder RPAs ersparen würde. Die Mehrheit der Mitgliedsländer und der europäischen Experten, auch wir, sind derzeit anderer Meinung und die Positionen der deutschen Bundesländer, wie sie bei Beratungen im Bundesrat geäußert wurden (Bundesrat 2011), sollten sich nach Ansicht der AutorInnen nicht durchsetzen.

Auf europäischer Ebene ist die Argumentation etwas unterschiedlich. Die Europäische Kommission (praktisch zuständig DG JRC) hat die aus dem Euratom-Vertrag abgeleitete Aufgabe, Daten über Umweltradioaktivität aus den Mitgliedsländern zu sammeln und zur Verfügung zu stellen. Angewandt auf natürliche Radioaktivität – oder auch ‚anthropogenically enhanced‘ natürliche Strahlung, wie es etwa auf Innenraum-Radon zutrifft -, ergibt das die Motivation, die Situation der natürlichen Strahlung in europäischem Maßstab kartographisch darzustellen.

In einer Studie über den Stand der Radonkartierung in Europa (Dubois 2005) hatte sich herausgestellt, dass zwar zahlreiche Länder bereits Radonkarten produziert hatten, diese aber methodisch derart verschieden waren, dass sich daraus keine europäische Radonkarte erstellen ließ. Dieser Umstand führte zum Projekt harmonisierter europäischer Radonkarten als Teil des langfristigen Projekts eines „Europäischen Atlas der Natürlichen Radioaktivität“.

Die Arbeit am Atlas begann 2006 mit der Karte der Radonkonzentration in Innenräumen, motiviert durch dessen überragende radiologische Bedeutung. 2008 begann die Arbeit an der Karte des geogenen Radon, 2010 die an der kosmischen Strahlung und Vorarbeiten zu Karten der externen terrestrischen Dosisleistung, zu geochemischen Karten, u.a. Die Karten sollen von Artikeln begleitet werden, die die physikalischen Grundlagen und die Methoden, von der Messung bis zur Kartierung, erläutern.

Der Atlas, und die Radonkarten im Besonderen, sollen verschiedene Aufgaben erfüllen: Darstellung der Situation auf europäischer Ebene; Sammlung und zur Verfügung stellen von (harmonisierten) Datensätzen; Erarbeitung und Diskussion von Methoden; gegebenenfalls auch zur Unterstützung künftiger Projekte von Radon-Surveys. Die europäische Radonkartierung stellt jedoch ausdrücklich nicht den Anspruch, nationale „Hausaufgaben“ auf dem Gebiet ersetzen zu können oder zu wollen.



Unabhängig von diesem gemeinsamen europäischen Projekt verfolgen die meisten Länder weiter eigene Kartierungsvorhaben, die an den jeweiligen Bedürfnissen und Problemlagen orientiert, und dadurch im Design verschieden sind. Nationale Radonkarten zeigen meistens höhere Auflösung, wobei die Zielgrößen sich am Datenbestand orientieren, der von Land zu Land sehr unterschiedlich ist. Dabei spiegeln die räumlichen Kartierungseinheiten die gesetzlichen Vorgaben (Verwaltungseinheiten, Pixel, geologische Einheiten) wider. Methodisch werden die Karten seit der Übersicht von 2005 zunehmend raffinierter, avancierte GIS-Technik, Geostatistik und Bayessche Verfahren kommen zur Anwendung. Die Bemühungen haben durch die bevorstehenden Europäischen BSS deutlichen Auftrieb erhalten, wie immer diese auch im Detail aussehen werden.

Dieser Beitrag stellt einige deutsche Radonkarten vor, diskutiert laufende Projekte der Radonkartierung und fasst den Stand des Europäischen Atlas zusammen.

## 2 Methodische Grundlagen

### 2.1 Kartierung als Schätzung

Kartierung bedeutet räumliche Schätzung: einer räumlichen Kartierungseinheit (Pixel, Polygon) werden geschätzte Werte der Zielvariablen zugeordnet, die z.B. farblich codiert dargestellt werden. Die der Schätzung zugrundeliegenden Daten können sehr unterschiedlicher Natur sein: ihre *geometrische* Natur kann die von punktuellen Beobachtungen sein oder Werte, die Linien oder Flächen charakterisieren. Ihre *Werte* können stetig numerisch sein (z.B. Radonkonzentration), kategorial-ordinal („niedrig“, „mittel“, „hoch“) oder kategorial-nichtordinal („Granit“, „Kalk“, „Silurischer Ölschiefer“).

Ein räumliches Schätzverfahren transformiert die Werte der Ausgangs- in die der Zielvariablen. Die Methoden reichen von einfacher Aggregation von Punktdaten in die Kartierungseinheiten, z.B. durch Berechnung des Mittelwertes der Beobachtungen, die in einer Einheit liegen, bis zu verschiedenen anspruchsvollen geostatistischen Schätz- und Interpolationsverfahren, die im Einzelnen zu diskutieren hier nicht der Platz ist.

Unabhängig vom Verfahren gibt es eine Bedingung an die Daten: die räumliche Struktur der Zielgröße muss in ihnen enthalten sein. Das ist weniger trivial als es klingt, denn die Daten enthalten als Ergebnisse von Beobachtungen Unsicherheiten. Der *Beobachtungsprozess* bedingt unvermeidliche Unsicherheit; diese darf nicht so groß sein, dass der *beobachtete Prozess* unter dem beobachtungsbedingten „Rauschen“ nicht mehr erkennbar ist. In diesem Fall wäre der Beobachtungsprozess (Design der Proben, Probenahme, Messung, Auswertung) zur Beobachtung des Prozesses nicht geeignet, dem die Mühe gilt. Für weitere Details wird auf Bossew und Hoffmann (2012) verwiesen.

Es gibt Wege festzustellen, ob Daten sich dafür eignen, aus ihnen eine bestimmte Zielgröße zu schätzen. Zum einen dient dafür die Analyse der räumlichen Autokorrelation der untersuchten Felder, zum anderen die des statistischen Zusammenhangs verschiedener Variablen, z.B. von Radon in der Bodenluft, geologischem Typ und Innenraum-Radon. So zeigen die Analysen, dass beispielsweise die Überschreitungswahrscheinlichkeit einer gewissen Innenraumkonzentration räumlich mit der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Bodenluftkonzentration sehr gut korreliert.

### 2.2 Beobachtungsprotokolle

Häufig können Zielgrößen nicht direkt gemessen werden, sondern man misst Größen, die jene praktisch substituieren. Z.B. kann man den „langfristigen Erwartungswert der Radonkonzentration in

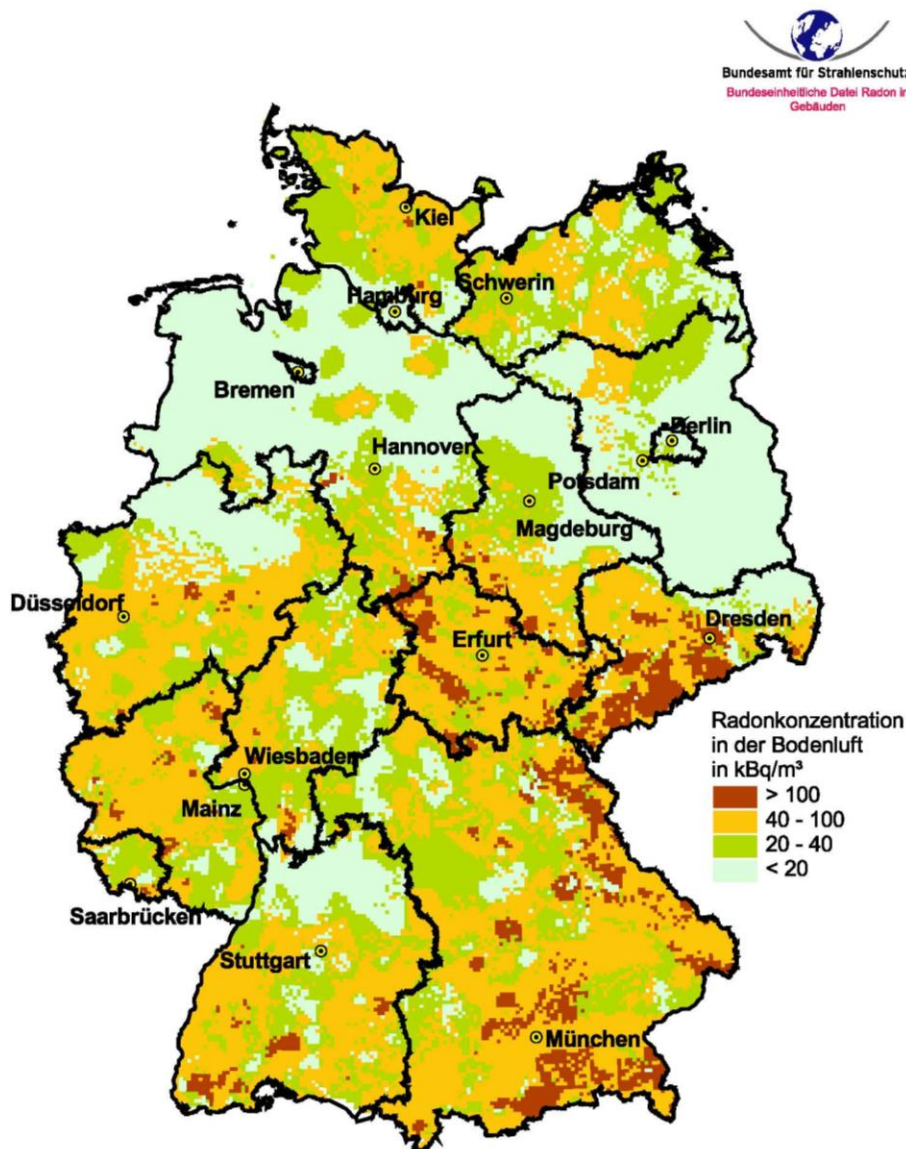
einem Innenraum“ nicht messen, sondern nur das zeitliche Mittel über einen bestimmten Zeitraum, etwa ein Jahr. Ein delikaterer und auch kontrovers diskutierter Fall ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Zum einen ist die Größe in realen, heterogenen Böden unterdefiniert, und muss durch eine operationale Größe ersetzt werden, z.B. die Konzentration in 1 m Tiefe. Diese wird mit einem festgelegten Protokoll bestimmt, welche die Größe im Detail definiert. Etwa legt das von Kemski et al. (2002) entwickelte Protokoll fest, dass drei Bohrungen an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks mit 5 m Seitenlänge durchgeführt werden, daraus mit einem definierten Verfahren Bodenluft entnommen wird und das Maximum der 3 Konzentration die operationale Größe ist (vereinfacht dargestellt). In der Tschechischen Republik schreibt das "Neznal-Protokoll" mehr als 15 Bohrungen vor, die Luftentnahme geschieht nach einer etwas anderen Methode und das 3. Quartil gilt als Wert der operationalen Größe (Neznal et al. 2004). Auch Langzeitmessungen mit passiven Detektoren nach einem bestimmten Protokoll wurden vorgeschlagen (Turek et al. 1997; Conrady et al. 2011).

Ein Protokoll ist *valid*, wenn die von ihm definierte operationale Größe den Messort (eine bestimmte Fläche) reproduzierbar charakterisiert, d.h. Unsicherheit (Folge des Beobachtungsprozesses) und Variabilität (Folge der realen räumlichen und zeitlichen Veränderlichkeit der Größe), die statistisch als zusätzliche Unsicherheit der operationalen Zielgröße aufscheint, den zu erfassenden Prozess nicht als Rauschen überdeckt. Valide Beobachtungsprotokolle, auf die gleiche reale Situation angewandt, liefern i.A. nicht den gleichen Wert (auch abgesehen von Unsicherheiten), d.h. enthalten systematische Unterschiede. Empirische und theoretische Untersuchungen zu Unterschieden zwischen den besonders wichtigen „Kemski“- und „Neznal“-Protokollen sind im Gange (z.B. EGRM 2011, Bossew 2012a).

### 3 Beispiele

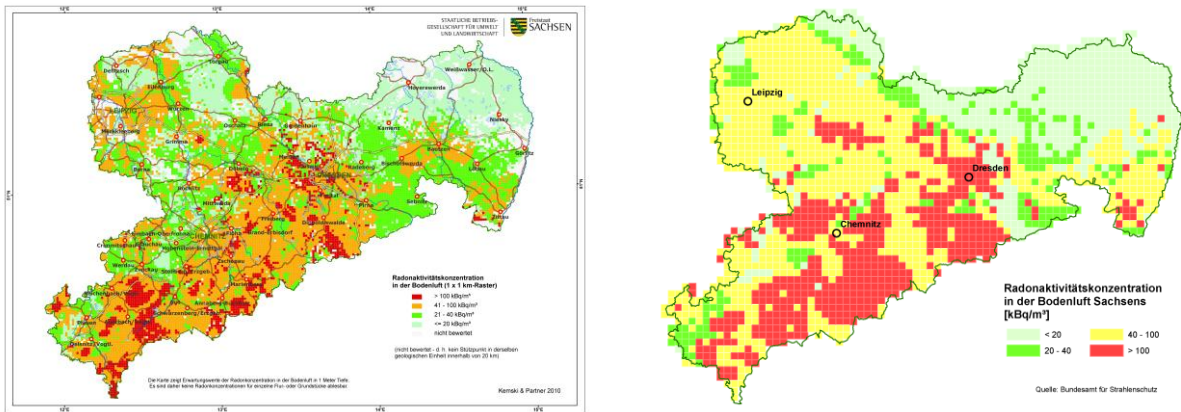
#### 3.1 Deutschland

Der Klassiker unter den deutschen Radonkarten ist die von Kemski et al. seit 2001 entwickelte Karte der Bodenluftkonzentration (Kemski et al. 2001, 2009 u.a.). Die aktuelle Version ist in Abbildung 1 gezeigt (Quelle: BfS, internet). Die Autoren definierten geologische Typen, vereinfacht nach dem Gesichtspunkt der Relevanz für das Radonpotential; die etwa 4000 Messwerte wurden auf ein 3 km x 3 km Raster mittels invers-quadratischer Abstandswichtung (IDW2) interpoliert. Dabei wurden nur Beobachtungen aus demselben geologischen Typ berücksichtigt. Die Methode ist robust und leicht reproduzierbar; die Radonkarte Sachsens (Kemski et al. 2010) wurde nach dem gleichen Rezept hergestellt. Abbildung 2 zeigt die sächsische Karte des Boden-Radon in zwei verschiedenen Auflösungen (Sachsen, internet). Die höhere Auflösung (1 x 1 km<sup>2</sup>-Zellen, rechte Karte) wurde möglich, als ein zusätzlicher Survey eine große Zahl neuer Messwerte (ca. 1000; deutsche Karte: insgesamt ca. 4000) erbrachte.



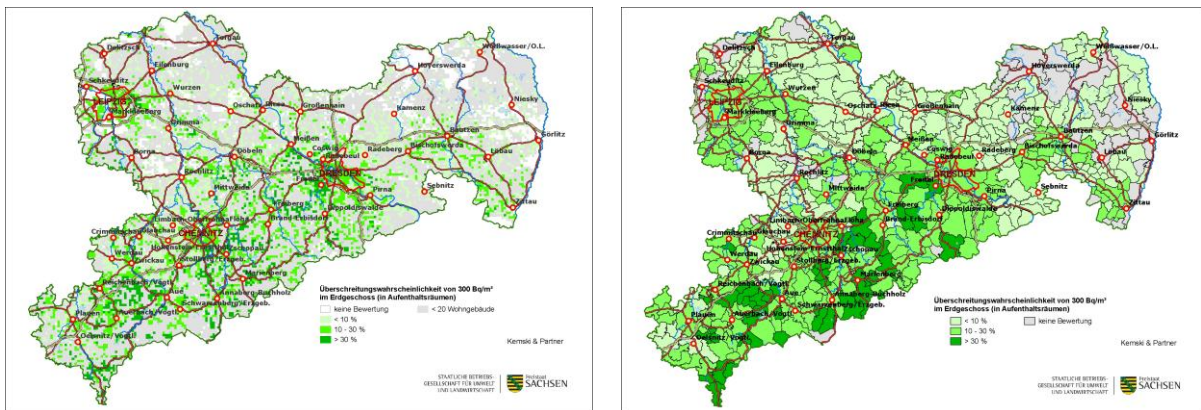
**Abb. 1:** Deutsche Karte der Radonkonzentration in der Bodenluft, entwickelt von Kemski et al. ([www.bfs.de/de/ion/radon/radon\\_boden/radonkarte.html](http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.html))

Der Vergleich der beiden Karten zeigt die Bedeutung der räumlichen Auflösung: eine räumliche Schätzung ist nicht nur auf dem Hintergrund von Schätzmethode (Modelle, Statistik), sondern auch hinsichtlich der Kartierungsmethode – hier: Wahl der Auflösung – zu interpretieren.



**Abb. 2:** Sächsische Karte der Radonkonzentration in Bodenluft; Auflösungen 1 x 1 km<sup>2</sup> (links) und 3 x 3 km<sup>2</sup> (rechts) Quelle: [www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm)

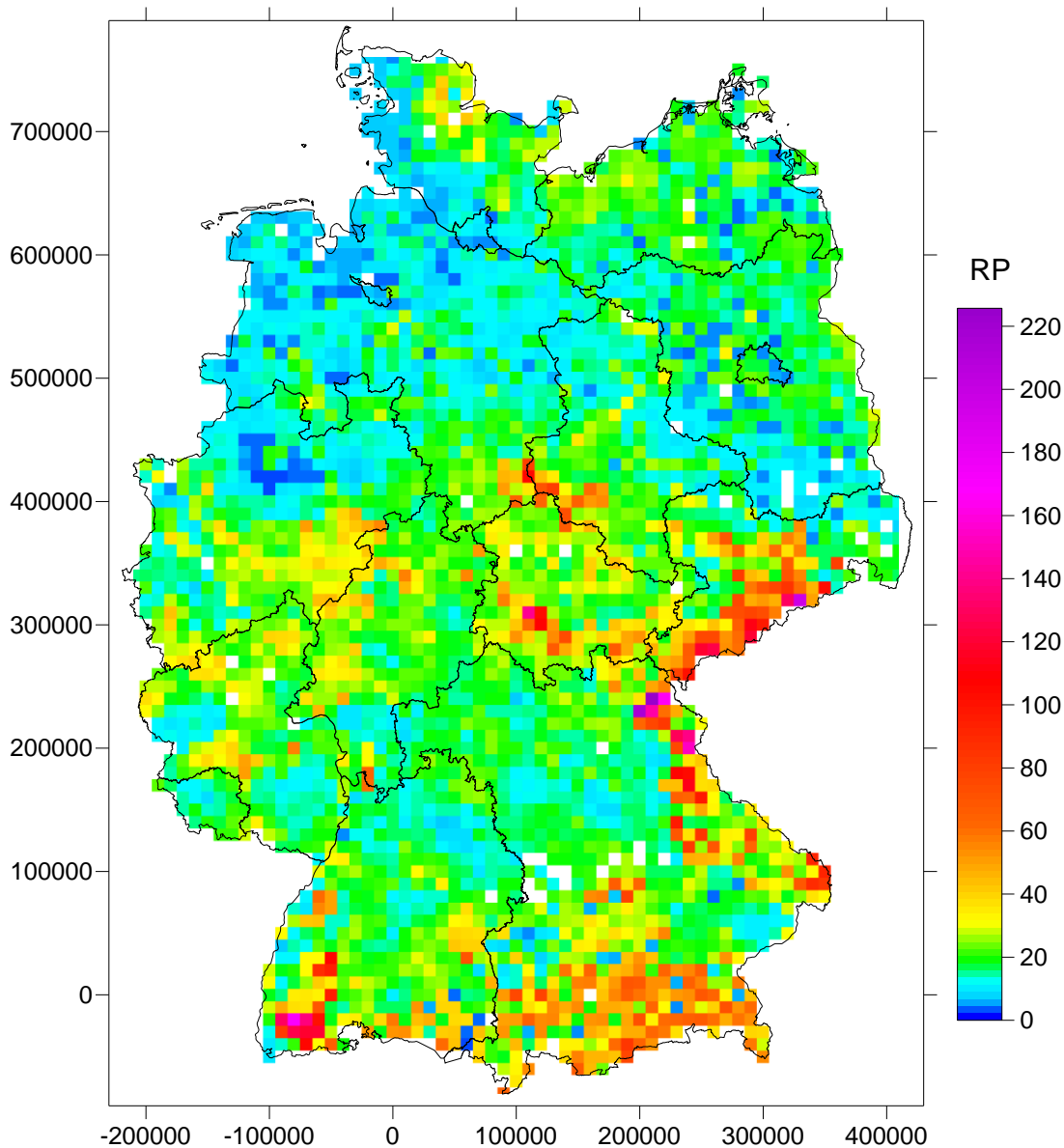
In Sachsen wurden zusätzlich Karten der geschätzten Wahrscheinlichkeiten hergestellt, dass die Radonkonzentration in Innenräumen eine Schwelle überschreitet (200 und 300 Bq/m<sup>3</sup> gewählt). Zwei Beispiele sind in Abbildung 3 gezeigt: links als Kartierungseinheit 1 x 1 km<sup>2</sup>-Zellen, rechts Polygone, die Gemeinden repräsentieren.



**Abb. 3:** Karten der geschätzten Wahrscheinlichkeit, dass die Radonkonzentration in Innenräumen (Aufenthaltsräume, Erdgeschoss) 300 Bq/m<sup>3</sup> übersteigt. Kartierungseinheiten: links 1 x 1 km<sup>2</sup>-Zellen, rechts Gemeinden. Quelle: [www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm)

Ein etwas anderer Ansatz bedient sich geostatistischer Verfahren, die zwar technisch komplizierter sind, aber die Schätzung lokaler Unsicherheit, Konfidenzintervalle und Wahrscheinlichkeiten erlauben, dass eine Schwelle (etwa ein Referenz- oder Grenzwert) überschritten wird.

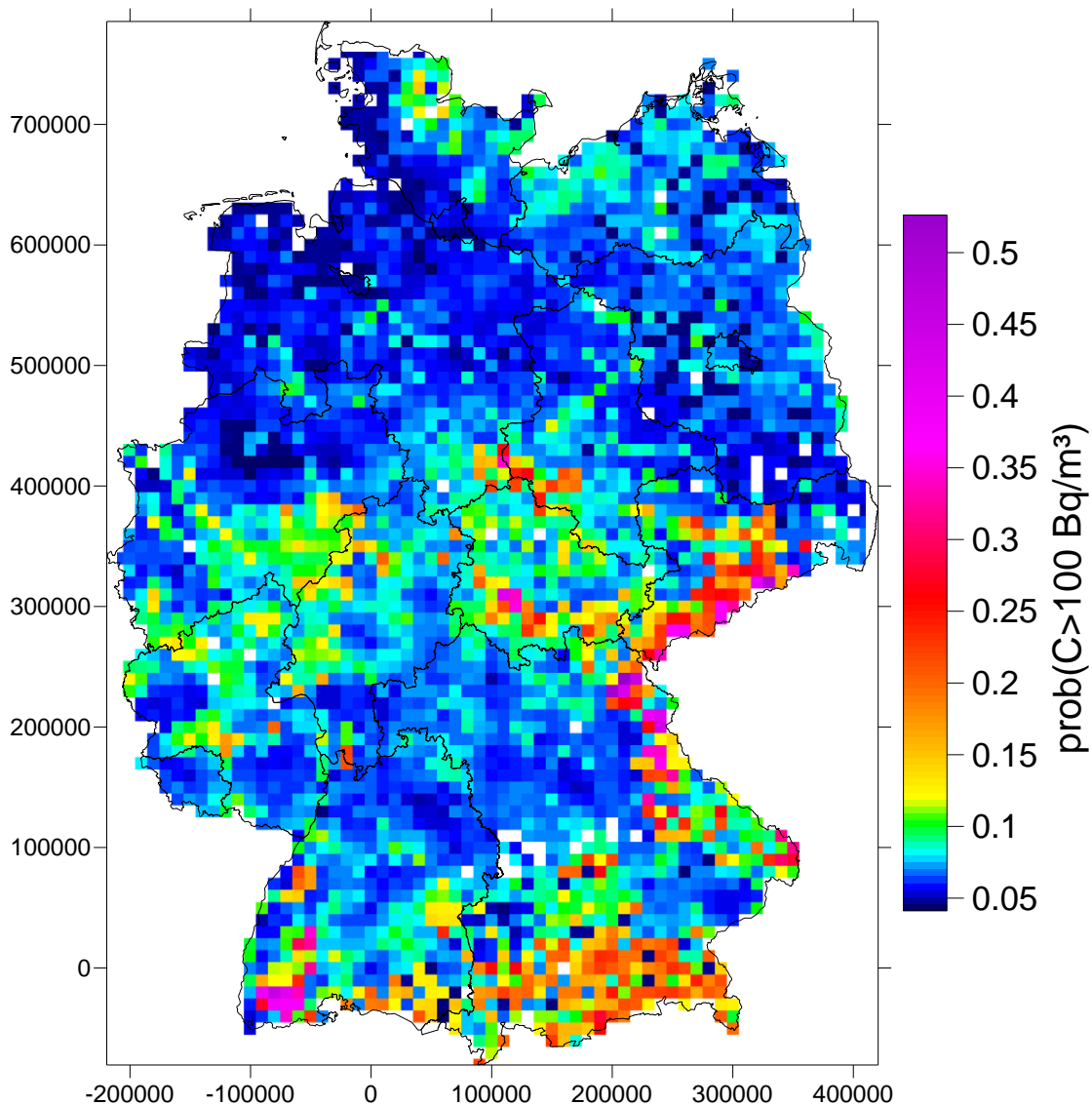
Abbildung 4 zeigt eine Karte des Radonpotentials (RP) nach tschechischer Definition (sogenanntes Neznal-RP; Neznal et al. 2004), wobei das Radonpotential definiert ist als  $RP = C / (-\log_{10}(k) - 10)$ , C = Rn-Konzentration im Boden (hier gemäß Kemski-Protokoll, kBq/m<sup>3</sup>), k = Permeabilität (m<sup>2</sup>). Für mittlere Permeabilität ist das so definierte RP proportional zu C·k, also der advektiven Komponente des Radon-Flusses, normiert auf den Druckgradienten.



**Abb. 4:** Karte des 'Neznal'-Radonpotentials (Definition siehe Text. Die verwendete Farbskala wurde ausschließlich zur optimalen Darstellung gewählt.)

Das dem RP zugrundeliegende Motiv ist die Darstellung einer Größe, die quantifiziert „what earth delivers in terms of Radon“, also unabhängig von anthropogenen Faktoren. Das geogene Radonpotential bezeichnet daher (wie der Name sagt) die geogene, natürliche Realität, bestimmt von Geologie (inkl. Bodeneigenschaften und ev. Hydrologie), aus dem unter der Bedingung anthropogener Faktoren eine Rn-Konzentration in einem Innenraum wird. Die Definition „glättet“ für extrem hohe oder niedrige nominelle Permeabilität, für die hohe Ungenauigkeit angenommen werden kann. Das geogene RP quantifiziert damit, nach der von manchen bevorzugten Terminologie, den Hazard, der erst unter bestimmten anthropogenen Bedingungen, von Bauweise bis Lebensgewohnheiten, ein Risiko wird.

Die Karte wurde mittels Gauß'scher sequentieller Simulation auf einem 10 km x 10 km Raster (Lambert Azimutale Projektion; GISCO) erzeugt, die Geologie spielt die Rolle des deterministischen Prädiktors. Die geologischen Typen sind ähnlich (leicht modifiziert) wie bei Kemski et al. 2001, 2009 definiert.



**Abb. 5:** Wahrscheinlichkeit, dass die Rn-Konzentration in Innenräumen (Jahresmittel, Erdgeschoss, unterkellerte Häuser). Zu beachten: Die Karte ist als vorläufiges Ergebnis zu verstehen, einige Modifikationen sind für die Endversion zu erwarten. (Die verwendete Farbskala wurde ausschließlich zur optimalen Darstellung gewählt.)

In Abbildung 5 ist die Wahrscheinlichkeit dargestellt, dass die mittlere jährliche Radon-Konzentration in Wohnräumen im Erdgeschoss unterkellerten Häuser  $100 \text{ Bq/m}^3$  überschreitet (der Wert ist willkürlich gewählt; die EU-BSS schlagen den Referenzwert  $300 \text{ Bq/m}^3$  vor). Die Karte zeigt die lokalen bedingten Wahrscheinlichkeiten, konditional zum geschätzten lokalen RP (Abbildung 4), abgeleitet aus der modellierten (mittels Gumbel-Copula) gemeinsamen Verteilung von RP und Innenraum-Radon. (Die gezeigte Version der Karte ist noch provisorisch, da die Nichtlinearität der Funktion  $\text{RP} \rightarrow \text{Wahrscheinlichkeit}$  noch nicht berücksichtigt ist, weshalb der Erwartungswert nicht biasfrei transformiert wird. Die Wahrscheinlichkeit wird hier etwas unterschätzt.)

## 3.2 Europa

Hier soll nur die Karte der Radon-Konzentration in Innenräumen („European Indoor Radon Map“, EIRM) gezeigt werden, Abbildung 6. Die Ausgangsgröße ist das gemessene oder geschätzte Langzeit- (in der Praxis jährliche) Mittel in Wohnräumen im Erdgeschoss. Die Werte werden von den Teilnehmern in einem gemeinsam vorgegebenen 10 km x 10 km-Raster aggregiert (GISCO-Lambert-Projektion wie oben) und die folgenden statistischen Größen zellenweise ans JRC übermittelt, wo die eigentliche Kartierung erfolgt: Anzahl der Werte, arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Werte und der logarithmierten Werte, Median, Minimum und Maximum. Der Zweck dieses Vorgehens ist vor allem Datenschutz: die georeferenzierten Originaldaten, bei Radon ein sensibles Thema, bleiben bei den Eigentümern. Die Ausgangsgröße wurde aus pragmatischen Gründen gewählt, weil von ihr die meisten Daten zur Verfügung stehen.

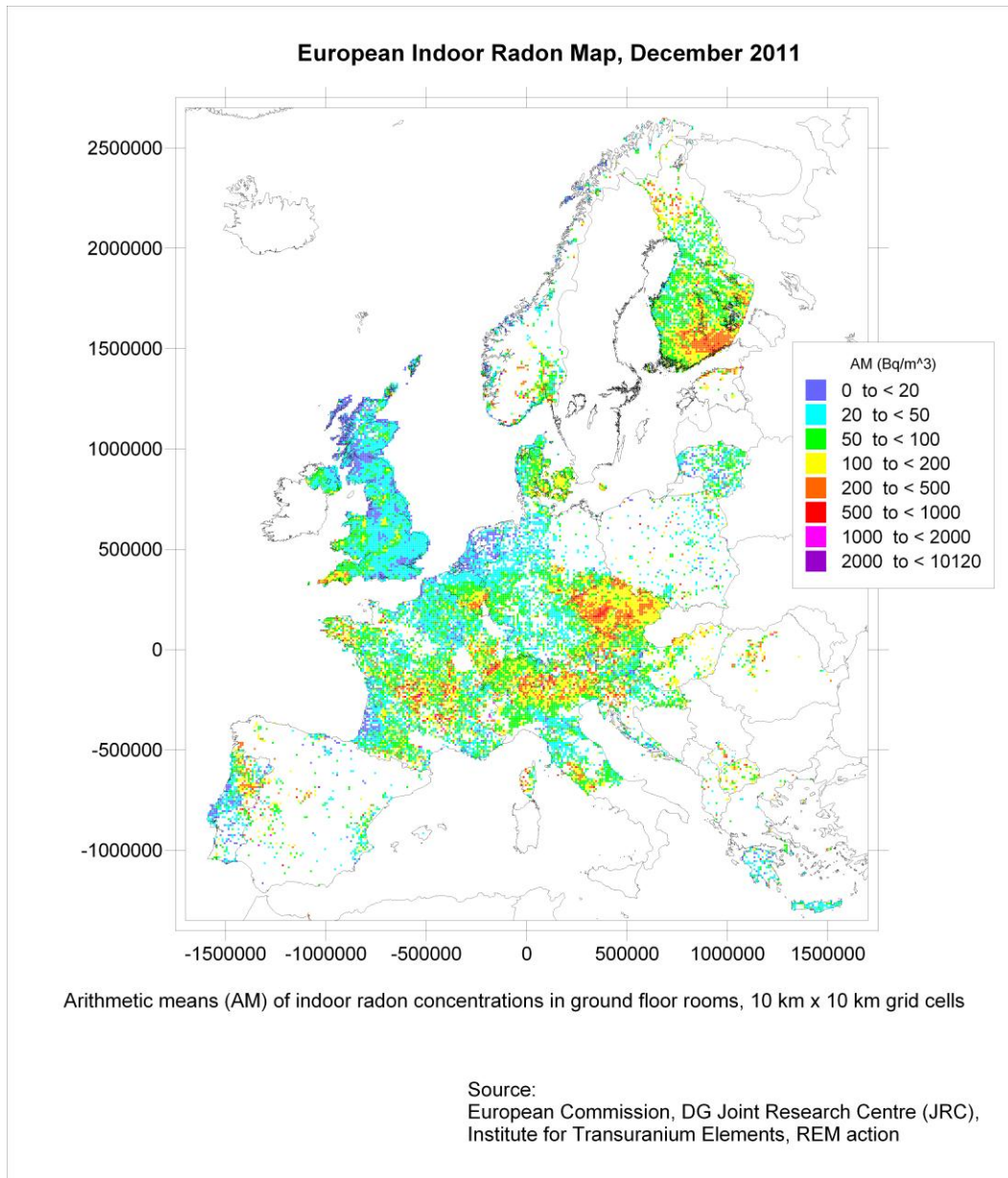
Derzeit sind etwa 800.000 Einzelwerte aus 25 Ländern verarbeitet (nicht nur EU-Mitglieder – es kann sich beteiligen, wer will). Die Dichte der Messdaten ist sehr unterschiedlich, sie liegt zwischen 1 und über 10.000 Werten pro Zelle (100 km<sup>2</sup>), je nach nationaler und regionaler Radon-Politik. Auch die räumliche Verteilung der Messpunkte ist unterschiedlich, gemäß verschiedener Designs von Radon-Surveys. Diese können entweder konzipiert sein, entsprechend der Erfassung der Exposition oder der räumlichen Verteilung der Niveaus, oder schlicht das Resultat lokaler mehr oder weniger zufälliger Surveys. Das Design eines Surveys hat Einfluss auf das Ergebnis, was allerdings in der EIRM bis jetzt nicht berücksichtigt wurde. Es ist auch zu beachten, dass die Karte nicht die Verteilung der Exposition darstellt, weil die meisten Menschen, vor allem in Städten, nicht in Erdgeschossräumen wohnen.

Ausführlichere Diskussionen der EIRM sind in Tollefsen et al (2011) und Bossew et al. (2012) zu finden. Eigenheiten der Designs sowie der Mess- und Auswertetechniken wurden durch einen Fragebogen erfasst, um Heterogenität, wenn sie schon nicht zu vermeiden ist, so doch wenigstens verstehen zu können.

Die Karte des geogenen Radons ist methodisch deutlich komplizierter. Um der Heterogenität der Datenbestände Rechnung zu tragen und nicht darauf warten zu müssen, dass die methodische Entwicklung zur Harmonisierung hinreichend fortgeschritten ist, wurde beschlossen, die Karte in Stufen zu erstellen. Zuerst – derzeit in Arbeit – wird eine allein auf der Geologie basierte Karte produziert, wobei die geologische Legende des OneGeology-Projektes (Baker and Jackson 2010) – so weit wie möglich – verwendet wird. Ein komplexes Problem ist nämlich die Heterogenität der geologischen Klassifizierungssystemen zwischen europäischen Ländern. Den Typen (Beispiele: Neoproterozoic phyllitic slate, wacke and quartzite; Upper Devonian to Pennsylvanian Gabbro and Diorite; Aquitanian diamicton and impure limestone; Variscan intrusive two-mica granite, usw.) wird nach einem Algorithmus eine von vier „Radonklassen“ zugeordnet. (Die Entscheidung für vier Klassen erfolgte aus praktischen Gründen, ist aber letztlich willkürlich. Zur Methodik: Bossew 2012b) Zur „Kalibrierung“ werden im derzeitigen Stadium die deutschen Messwerte verwendet, genauer gesagt die aus den Bodenluft- und Permeabilitätsmessungen (gemäß Kemski-Protokoll) abgeleiteten Werte des Neznal-RP. Der Nachteil des Konzepts ist, dass die – oft erhebliche – Variabilität des RP innerhalb geologischer Typen nicht zur Geltung kommt, weil jeder geologische Typ genau einer Klasse zugeordnet ist, auch wenn einzelne Messpunkte, gelegen in einer geologischen Einheit dieses Typs, nicht zu der Klasse passen. Die Ursache der Variabilität ist u.a., dass manche Faktoren, die das RP beeinflussen, in geologischer Klassifizierung nicht aufscheinen. Besonders relevant ist das bei quartären Geologien, in denen bei der üblicherweise verfügbaren Klassifizierungstiefe das Ausgangsgestein nicht erfasst ist, aus dem die als beispielsweise „mittelpaläozäne fluviatile Sand- und Silt-Ablagerungen“ klassifizierten Einheiten stammen. Insgesamt sind genuin geologische Legenden nicht optimal zur Radon-Klassifizierung geeignet, und Bemühungen um eine Re-Klassifizierung durch Zusammenfassung bestimmter Typen und Subklassifizierung anderer sind im Gange, aber dem ist immer durch die Verfügbarkeit geologischer Daten eine Grenze gesetzt, sowie von Messdaten, mit denen die geologischen Typen hinsichtlich des RP „kalibriert“ werden können.

Im nächsten Schritt soll eine punktweise Klassifizierung erfolgen. Dabei wird – je nach Datenbestand – jedem Punkt ein Indexwert zugeordnet werden, der aus den indizierten Eingangsgrößen abgeleitet ist. Beispiele für Eingangsgrößen sind wiederum geologische Typen, Nähe zu aktiven tektonischen Linien, Permeabilitätsklassen, Urangehalt, terrestrische Dosisleistung sowie Konzentrationen von

Innenraum- und Boden-Radon. Gemäß einer Klassifizierungstabelle wird aus den Eingangsgrößen ein Indexwert berechnet. Das Konzept wird seit langem z.B. in den USA angewandt (EPA 1993). Für Deutschland wurde eine auf diesem Prinzip basierende Radon-Karte von Kemski et al. (1996, 2001) vorgeschlagen. Auch in der Tschechischen Republik und in modifizierter Form in Frankreich ist diese Methode, die als sehr robust gilt, angewandt worden. Auf europäischer Ebene besteht das Problem wieder in der Heterogenität der Daten zwischen den Ländern.



**Abb. 6:** Europäische Karte der Radon-Konzentration in Innenräumen (langfristiges Mittel, Erdgeschoss, Stand Dezember 2011).

Als dritter Schritt schließlich sollen punktuell Werte des RP bestimmt, also eine Karte mit kontinuierlicher Skala erstellt werden. Dazu müssen „Transferfunktionen“ zwischen verschiedenen Eingangsgrößen und dem RP bestimmt werden. Die Geologie würde in diesem Ansatz als Bayesscher Prädiktor fungieren. Die Arbeiten zum zweiten und dritten Schritt sind parallel zum ersten im Gange und unterschiedlich fortgeschritten. Weitere Details zum Konzept der EGRM sind in Gruber et al. 2012 zu finden.



## 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Erstellung von Radonkarten ist methodisch nicht ganz simpel. Gründe liegen in der regional unterschiedlichen Verfügbarkeit und Heterogenität der Eingangsdaten und an der Komplexität von Schätzverfahren, wenn der Anspruch besteht, auch Unsicherheiten und Wahrscheinlichkeiten zu schätzen.

Deutliche Fortschritte gab es in den letzten Jahren beim Verständnis der Relevanz der Beobachtungsprotokolle und in der Methodik der Einbeziehung der Geologie als Prädiktor. Probleme bestehen in der – unseres Erachtens – immer noch nicht optimalen geologischen Klassifizierung gemäß RP, der Einbeziehung tektonischer Phänomene als Prädiktoren, der Schätzung von Transfermodellen zwischen Eingangs- und Zielvariablen, und in der multivariaten Schätzung. Insbesondere die simultane Einbeziehung von mehr als zwei Kovariaten ist zurzeit technisch nicht befriedigend gelöst. Zu Transfermodellen gibt es inzwischen eine Reihe von Studien und auch an den anderen Problembereichen wird gearbeitet.

Die methodischen Grundlagen, um Karten von Radon Prone Areas herzustellen, sind gelegt; in Deutschland ist auch, abgesehen von einzelnen Regionen, der Datenbestand zufriedenstellend. Die Festlegung der Parameter, die solche Gebiete definieren, also z.B. die Wahrscheinlichkeitsschwelle, dass eine bestimmte Schwelle des RP oder einer Radon-Konzentration in standardisierten Innenräumen überschritten wird, ist Aufgabe der Politik; die Wissenschaft kann hier nur Anregungen liefern.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Baker G R, Jackson, I 2010: OneGeology-Europe, Final Report, ECP-2001-GEO-317001, <http://www.onegeology-europe.eu/>
- [2] BfS (Deutsches Bundesamt für Strahlenschutz): [www.bfs.de/de/ion/radon/radon\\_boden/radonkarte.html](http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.html)
- [3] Bossew P., Dubois G. and Tollefsen T. (2008): Investigations on indoor Radon in Austria, part 2: Geological classes as categorical external drift for spatial modelling of the Radon potential. *J. Environmental Radioactivity* 99 (1), 81 – 97.
- [4] Bossew P. (2012a): The influence of observation protocols on reported values of Rn in soil air. 11th INTERNATIONAL WORKSHOP on the GEOLOGICAL ASPECTS OF RADON RISK MAPPING, September 18th – 20th(22nd), 2012, Prague, Czech Republic.
- [5] Bossew P. (2012b): Classification of geological units according to the radon potential. 11th INTERNATIONAL WORKSHOP on the GEOLOGICAL ASPECTS OF RADON RISK MAPPING, September 18th – 20th(22nd), 2012, Prague, Czech Republic.
- [6] Bossew P., V. Gruber, T. Tollefsen, M. De Cort (2012): The European map of indoor radon concentrations: status and questions of quality assurance. *Kerntechnik* 77 (3), 176 - 183.
- [7] Bossew P. and Hoffmann B. (2012): Sinn und Unsinn von Radonkarten. *Strahlenschutzpraxis* 2/2012, 21 – 25.
- [8] Bundesrat (2011): Sitzungsprotokoll der 890. Sitzung des Bundesrates, 25. November 2011, TOP44
- [9] Conrady J., Guhr A. and Turek K. (2011): Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft – Wie zuverlässig sind die Messwerte? *Strahlenschutzpraxis* 3/2011, p. 56 ff.
- [10] Dubois G. (2005): An overview of radon surveys in Europe. Report EUR 21892 EN, Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities ISBN 92-79-01066-2.

- [http://europa.academia.edu/GregoireDubois/Papers/429267/An\\_overview\\_of\\_radon\\_surveys\\_in\\_Europe](http://europa.academia.edu/GregoireDubois/Papers/429267/An_overview_of_radon_surveys_in_Europe)
- [11] EC (European Commission), 2011. Proposal for a Council directive laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation; Draft presented under Article 31 Euratom Treaty for the opinion of the European Economic and Social Committee. COM (2011) 593 final; [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation\\_protection/doc/com\\_2011\\_0593.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/com_2011_0593.pdf)
- [12] EGRM (2011): The European Geogenic Radon Map; ongoing working document; currently version 1, 20 November 2011; available from the JRC, [valeria.gruber@jrc.ec.europa.eu](mailto:valeria.gruber@jrc.ec.europa.eu) or from the author.
- [13] EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 1993 EPA's map of radon zones Report 402-R-93-071; [www.epa.gov/radon/zonemap.html](http://www.epa.gov/radon/zonemap.html) (acc. 28 February 2012)
- [14] GISCO: European Commission. [http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/gisco\\_dbm/dbm/p1ch3\\_5.htm](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/gisco_dbm/dbm/p1ch3_5.htm)
- [15] Gruber V., Bossew P., De Cort M., Tollefsen T. (2012): The European map of the geogenic radon potential. Subm. J. Radiol. Prot.; presentation O9 at NARE 2012 (29 Feb – 3 Mar 2012, Hirosaki University, Japan), <http://133.63.22.22/resnet/nare2012/pres.php>
- [16] Hoffmann B. (2011): Radonhandbuch und BuRG; aktueller Stand. Fachgespräch Radon. BfS, Berlin, 11.-12.5.2011 (In German)
- [17] Kemski J., Klingel R. and Siehl A. (1996): Classification and mapping of radon-affected areas in Germany. Environment International 22 (Suppl. 1), S789 – S798.
- [18] Kemski J., Siehl A., Stegemann R. and Valdivia-Manchego M. (2001): Mapping the geogenic radon potential in Germany. The Science of the Total Environment 272 (1 – 3), 217 - 230.
- [19] Kemski J., Klingel R., Siehl A., Stegemann R., and Valdivia-Manchego M. (2002): Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und Wohnraumluft. Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben St. Sch. 4186 und St. Sch. 4187: Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials. Teil A: Bodenuntersuchungen zum geogenen Radonpotenzial. Teil B: Validierung der geologischen Prognose durch Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2002-598. – Excerpt. measurement protocol soil air: [www.kemski-bonn.de/downloads/MessanleitungBodenluft\\_Web.pdf](http://www.kemski-bonn.de/downloads/MessanleitungBodenluft_Web.pdf) (acc. 29 June 2012).
- [20] Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A., Valdivia-Manchego, M. (2009): From radon hazard to risk prediction - based on geological maps, soil gas and indoor measurements in Germany. Environmental Geology 56, 1269 – 1279.
- [21] Kemski J., Klingel R., Preuße W. and Busch H. (2010): The new geogenic radon map of Saxony. In: Barnet I., Neznal M. and Pacherova P., eds.: Proc., 10th international workshop on the geological aspects of radon risk mapping. Czech geological survey, Radon v.o.s., Prague 2010. ISBN 978-80-7075-754-3; pp. 157 - 161. <http://www.radon.eu/workshop2010/>
- [22] Neznal, M., Neznal, M., Matolin, M., Barnet, I., Miksova, J. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geol. Survey Special Papers, 16, Czech Geol. Survey, Prague, 47 p. <http://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf>
- [23] Sachsen: Portal des Freistaates Sachsen; [www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm) (acc. 22 Aug. 2012)
- [24] Tollefsen T., V. Gruber, P. Bossew, M. De Cort (2011): Status of the European Indoor Radon Map., Rad. Prot. Dosimetry. 145, (2–3), 110–116.
- [25] Turek K., Bednař J. and Neznal M. (1997): Parallel track-etch detector arrangement for radon measurement in soil. Radiation Measurement 28 (1-6), 751 – 754.

# ENTWICKLUNG EINES EFFIZIENTEN MESSVERFAHRENS ZUR BESTIMMUNG DER RADONKONZENTRATION ALS INDIKATOR FÜR DIE QUALITÄT DER INNENRAUMLUFT

## DEVELOPMENT OF AN EFFICIENTLY MEASUREMENT METHOD TO ESTIMATE THE RADON CONCENTRATION AS AN INDICATOR OF THE INDOOR AIR QUALITY

Franz Anton Rößler<sup>1)</sup>, Tahar Azzam Jai<sup>1)</sup>, V. Ehret<sup>1)</sup>, H. Hingmann<sup>1)</sup>  
T. Orowighose<sup>1)</sup>, N. Jach<sup>1)</sup>, T. Schanze<sup>2)</sup>, J. Breckow<sup>1)</sup>

- <sup>1)</sup> Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz (IMPS), Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen
- <sup>2)</sup> Fachbereich Krankenhaus- und Medizintechnik, Umwelt- und Biotechnologie (KMUB), Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen

### **Zusammenfassung**

Die Energiesparverordnung (EnEV) sieht für Neubauten, aber auch für Altbausanierungen Obergrenzen für den Jahres-Primärenergiebedarf vor. Die hierzu erforderlichen Maßnahmen können mit einem Herabsetzen der Luftwechselrate einhergehen und somit zu einer Verschlechterung der Raumluftqualität führen [1]. Die Kenntnis der Luftwechselrate ist daher zur Beurteilung der Raumluftqualität von großer Bedeutung. Die Luftwechselrate wird neben klima- und gebäudespezifischen Aspekten wesentlich durch die Raumnutzung beeinflusst. Bisherige Methoden zur Ermittlung der Luftwechselrate erfolgen unter Prüfbedingungen, wodurch keine Berücksichtigung der Raumnutzung und somit keine Untersuchung unter Alltagsbedingungen gewährleistet werden kann.

Im Rahmen dieses Beitrags wird eine Methode vorgestellt, die eine Ermittlung der Luftwechselrate unter Alltagsbedingungen erlaubt. Als Indikatorgas wird das natürlich in der Raumluft vorkommende Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) verwendet. Über eine geeignete Modellbildung werden mathematische Zusammenhänge hergestellt, die es erlauben, aus diesem in der Raumluft gemessenen Verlauf der Radonkonzentration den Verlauf der Luftwechselrate zu berechnen. Durch Versuchsreihen in einer für diesen Zweck errichteten Messkammer konnte die vorgenommene Modellierung der Methode praktisch bestätigt werden. Diese Methode liefert somit ein Werkzeug, welches ohne Einschränkung der Raumnutzung aus einem gemessenen Verlauf der Radonkonzentration den Verlauf der Luftwechselrate und in einem späteren Schritt den damit korrelierten Verlauf von Schadstoffkonzentrationen ermitteln kann.

### **Summary**

The energy conservation regulation provides upper limits for the annual primary energy requirements for new buildings built and old building renovation. The actions required could accompany a reduction of the air change rate and cause a degradation of the indoor air quality [1]. Hence, knowledge of the air change rate is important for the estimation of the indoor air quality. In addition to climate- and

*building-specific aspects the air change rate is essentially affected by the user of the living quarter. Present methods for the estimation of the indoor air quality can only be effected under test conditions, whereby the influence of the user of the living quarter cannot be considered and so an estimation under daily routine cannot be ensured.*

*In the context of this contribution a method is presented, that allows an estimation of the air change rate under daily routine. Radon which is a naturally occurring gas is used as an indicator. Via suitable modelling mathematical connections are established to estimate the progression of the air change rate using the measured progression of a radon concentration. Via experimental series with the help of a for this purpose constructed measurement chamber, the realised modelling of the method could be affirmed practically. So this method provides a tool that allows the estimation of the progression of the air change rate out of the measured progression of a radon concentration and in a later step the estimation of a correlating progression of air pollutant concentrations without limitations of using the living quarter.*

## 1 Einleitung

In Mitteleuropa halten sich Erwachsene durchschnittlich 90 % des Tages in geschlossenen Innenräumen auf [2]. Dies führt dazu, dass sie einer Vielzahl an Luftschadstoffen ausgesetzt sind, welche sich in der Innenraumluft anreichern können. Allein die Anwesenheit des Menschen führt zu Emissionen von z.B. CO<sub>2</sub> oder Ausdünstungen. Durch Bauprodukte, Möbel und weiteren Gegenständen des täglichen Gebrauchs werden Stoffe wie flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC) abgegeben. Eine hohe Luftfeuchtigkeit in Innenräumen kann zu Schimmelbildung führen, welche wiederum Sporen und Allergene emittieren. Nicht zu vergessen sei an dieser Stelle das Radon, welches sich ebenfalls in der Innenraumluft anreichern und eine Gesundheitsgefährdung bedeuten kann.

Die Konzentrationen dieser Luftschadstoffe hängen zum einen von den jeweiligen Emittenten, zum anderen von der Belüftung des Raumes ab. Eine gute Belüftung und somit eine hohe Luftwechselrate sorgt dafür, dass sich die Luftschadstoffe im Innenraum nicht anreichern können und deren Konzentration auf einem niedrigen Niveau bleibt. Die Energiesparverordnung [3] sieht jedoch für Neubauten, aber auch für Altbauanierungen Obergrenzen für den Jahres-Primärenergiebedarf vor. Zur Senkung des Energieverbrauchs ist es notwendig, die Gebäudeaußenhülle stärker zu dämmen und dicht schließende Türen und Fenster einzusetzen. Dies kann zu einem Herabsetzen der Luftwechselrate führen, was wiederum eine Erhöhung des Schadstoffniveaus zur Folge haben kann. Um dies zu vermeiden, bestehen gewisse Anforderungen an die Belüftung des Gebäudes, welche durch aktive Lüftungsanlagen oder ein angepasstes Lüftungsverhalten (passives Lüften) erfüllt werden können. Aktive Lüftungsanlagen sind in der Regel geeignet, eine Erhöhung des Schadstoffniveaus zu vermeiden. Bei Anwendung des passiven Lüftens besteht jedoch eine große Abhängigkeit vom Nutzerverhalten. Wird das passive Lüften nur unzureichend betrieben, kann dies zu einer Erhöhung des Schadstoffniveaus führen.

Die Kenntnis der Luftwechselrate ist daher zur Abschätzung der Raumluftqualität von zentraler Bedeutung. Bisherige Verfahren zur Ermittlung der Luftwechselrate können allerdings nur unter Prüfbedingungen oder bei konstanter Luftwechselrate erfolgen. Eine Berücksichtigung der Raumnutzung als wichtiger Einfluss auf die Luftwechselrate kann dabei nicht erfolgen. Alternativ zu den bisherigen Verfahren wird im Folgenden eine Methode vorgestellt, welche Radon als Indikatorgas heranzieht, was eine Ermittlung von Zeitreihen der Luftwechselrate unter Alltagsbedingungen ermöglicht.

Die Ermittlung von Zeitreihen der Luftwechselrate aus gemessenen Zeitreihen der Radonkonzentration erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst erfolgt eine Quellstärkenbestimmung bei möglichst niedriger und konstanter Luftwechselrate. Das über eine Langzeitmessung gewonnene Nutzsignal der Radonkonzentration wird mittels geeigneter Filterfunktionen gefiltert. Über ein hierfür entwickeltes Re-konstruktionsverfahren wird schließlich aus dem gefilterten Messsignal der Radonkonzentration der Verlauf der Luftwechselrate ermittelt. Ziel dieser vorgestellten Methode ist, eine möglichst genaue Ermittlung der Radon-Quellstärke und eine möglichst rauschfreie

Rekonstruktion der Luftwechselrate aus dem verrauschten Langzeit-Messsignal der Radonkonzentration zu gewährleisten.

Zur praktischen Überprüfung der Methode werden Messungen in einer Messkammer vorgenommen, die der Größenordnung eines realen Raums nahe kommt. Die Messkammer ist mit einer programmierbaren Lüftersteuerung ausgestattet, welche die Realisierung frei wählbarer Verläufe der Luftwechselrate ermöglicht.

## 2 Modellbildung

Zur Bildung eines Modells, welches den mathematischen Zusammenhang zwischen der Luftwechselrate  $k(t)$  und der Radonkonzentration  $c(t)$  beschreibt, wird eine Differentialgleichung ermittelt. Hierbei wird das aus dem Erdreich und dem Baumaterial ausgasende Radon in Form der auf das Raumvolumen  $V$  normierten Radonquellstärke  $Q_V$  berücksichtigt. Der radioaktive Zerfall sorgt für einen Verlust an Radonkonzentration und wird über die differentielle Form des Zerfallsgesetzes mit der Zerfallskonstante  $\lambda$  beschrieben. Zur Herstellung des Zusammenhanges zwischen der Luftwechselrate und der Radonkonzentration ist der Luftwechsel mit Zu- und Abluft aufgeführt, wobei über die Zuluft Radon aus der Außenluft mit der Konzentration  $c_a$  in den Innenraum herein und über die Abluft Radon aus der Innenluft mit der Konzentration  $c(t)$  heraus getragen wird.

$$\frac{dc(t)}{dt} = Q_V - \lambda \cdot c(t) + k(t) \cdot c_a - k(t) \cdot c(t) \quad (1)$$

Aus der Lösung der Differentialgleichung (s. Gl. 1) kann eine zeitdiskrete Gleichung erstellt werden, welche die iterative Berechnung der Radonkonzentration  $c(t)$  aus der Luftwechselrate  $k(t)$  erlaubt.  $\Delta t$  stellt hierbei das zeitliche Intervall der zeitdiskreten Daten dar.

$$c(n) = e^{-(\lambda+k(n))\Delta t} \cdot \left( c(n-1) - \frac{Q_V + c_a \cdot k(n)}{\lambda + k(n)} \right) + \frac{Q_V + c_a \cdot k(n)}{\lambda + k(n)} \quad (2)$$

Da Gl. 2 jedoch nicht nach der Luftwechselrate  $k(t)$  umgeformt werden kann, ist es notwendig, die Differentialgleichung (s. Gl. 1) in eine Differenzgleichung zu überführen. Diese kann wiederum nach der zeitdiskreten Luftwechselrate  $k(n)$  umgeformt werden.

$$k(n) = \frac{\frac{c(n+1) - c(n)}{\Delta t} - Q_V + \lambda \cdot c(n)}{c_a - c(n)} \quad (3)$$

Für  $c(n)$  können Messwerte der Radonkonzentration eingesetzt werden, welche mit einem Messintervall von  $\Delta t$  aufgenommen wurden. Die Radonquellstärke  $Q_V$  wird vor Beginn der Langzeitmessung über ein hierfür entwickeltes Verfahren (siehe Abschnitt 3) bestimmt. Je nach Konstanz der Radonquelle kann dies in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt werden. Die Außenkonzentration  $c_a$  kann entweder als konstant angenommen werden oder über eine eigene Messreihe  $c_a(n)$  in die Gleichung eingehen.

Gl. 2 und Gl. 3 liefern somit die Werkzeuge zur Berechnung von Zeitreihen der Luftwechselrate aus der Radonkonzentration und der Radonkonzentration aus der Luftwechselrate.

### 3 Ermittlung der Radonquellstärke

Bis auf die auf das Raumvolumen normierte Radonquellstärke  $Q_V$  sind alle Parameter in Gl. 3 bekannt bzw. messtechnisch zugänglich. Die auf das Raumvolumen normierte Radonquellstärke  $Q_V$  stellt die vollständige Charakterisierung des Raumes dar. Sie kann über die Aufnahme einer Sättigungskurve der Radonkonzentration ermittelt werden, indem zunächst durch Erhöhung der Luftwechselrate (passives oder aktives Lüften) die Radonkonzentration im Gebäudeinnerem auf Werte nahe der Radonaußenkonzentration gesenkt wird. Anschließend wird die Luftwechselrate wieder abgesenkt (Beenden der „Lüftungssituation“), was zu einem erneuten Aufbau der Radonkonzentration führt und somit eine Sättigungskurve liefert, welche unter Gewährleistung einer möglichst konstanten Luftwechselrate einem Exponentialverlauf folgt. Diese Sättigungskurve wird mit einem Radonmonitor aufgezeichnet. Durch Anwendung des Levenberg-Marquardt-Algorithmus werden die Zeitkonstante  $\tau$ , die Anfangskonzentration  $c_0$  und die Sättigungskonzentration  $c(\infty)$  an folgende Funktion angepasst:

$$c(t) = e^{\frac{-t}{\tau}} \cdot (c_0 - c(\infty)) + c(\infty) \quad (4)$$

Für die Berechnung der Radonquellstärke werden die so ermittelte Zeitkonstante  $\tau$  und die Sättigungskonzentration  $c(\infty)$  herangezogen.

Aus der Lösung der Differentialgleichung (siehe Gl. 1) kann folgender Zusammenhang hergeleitet werden:

$$Q_V = \frac{c(\infty)}{\tau} - c_a \cdot \left(\frac{1}{\tau} - \lambda\right) \quad (5)$$

Unter Verwendung der über Gl. 4 ermittelten Parameter  $\tau$  und  $c(\infty)$  und der konstanten Parameter  $\lambda$  und  $c_a$  kann über diesen Zusammenhang die auf das Raumvolumen normierte Radonquellstärke  $Q_V$  berechnet werden, welche die vollständige Charakterisierung des zu untersuchenden Raumes darstellt.

### 4 Filterung von Messreihen der Radonkonzentration

Die Rekonstruktion einer Zeitreihe der Luftwechselrate erfolgt nach Gl. 3. Hierbei bestehen hohe Anforderungen an das Messsignal der Radonkonzentration da durch den Term  $c(n+1) - c(n)$  eine gewisse Rauschempfindlichkeit besteht. Da das Messsignal durch den statistischen Charakter der Radonmessung jedoch immer einem Rauschen unterworfen ist, ist es notwendig, eine Glättung des Messsignals durchzuführen. Diese erfolgt anhand eines systemtheoretischen Ansatzes zur Filterung über die Verwendung von Fensterfunktionen (Rechteck-, Hamming-, Hanningfenster, etc....) in vier Schritten. Erstens werden dem Messsignal durch das sogenannte „zero-padding“ Nullen angefügt, so dass dessen Länge mit der Länge der Fensterfunktion übereinstimmt. Zweitens wird das aus dem ersten Schritt resultierende Signal über die Fourier-Transformation in den Frequenzbereich überführt. Drittens wird das aus der Fourier-Transformation resultierende Spektrum mit einer geeigneten Fensterfunktion multipliziert. Schließlich wird das Ergebnis durch inverse Fourier-Transformation wieder in den Zeitbereich transformiert. Um eine möglichst effiziente Filterung ohne Verlust der Signalmerkmale zu realisieren, spielt bei diesem Filterungsvorgang die Wahl der geeigneten Fensterfunktion und deren Breite eine große Rolle. Diese Wahl hängt von dem Spektrum des Messsignals ab. Der Verlauf der Luftwechselrate kann schließlich durch die Rekonstruktion der gefilterten Daten der Radonkonzentration durch Gl. 3 berechnet werden.

## 5 Versuchsaufbau

Zur praktischen Überprüfung des erstellten Modells ist es notwendig, Messungen in einer Messkammer vorzunehmen, welche das Ausschalten von Störgrößen, das Schaffen kontrollierter Bedingungen und somit den Erhalt reproduzierbarer Ergebnisse ermöglicht. Als Messkammer dient eine in Abb. 1 dargestellte Kühlzelle.



**Abb. 1:** Außenansicht der Messkammer

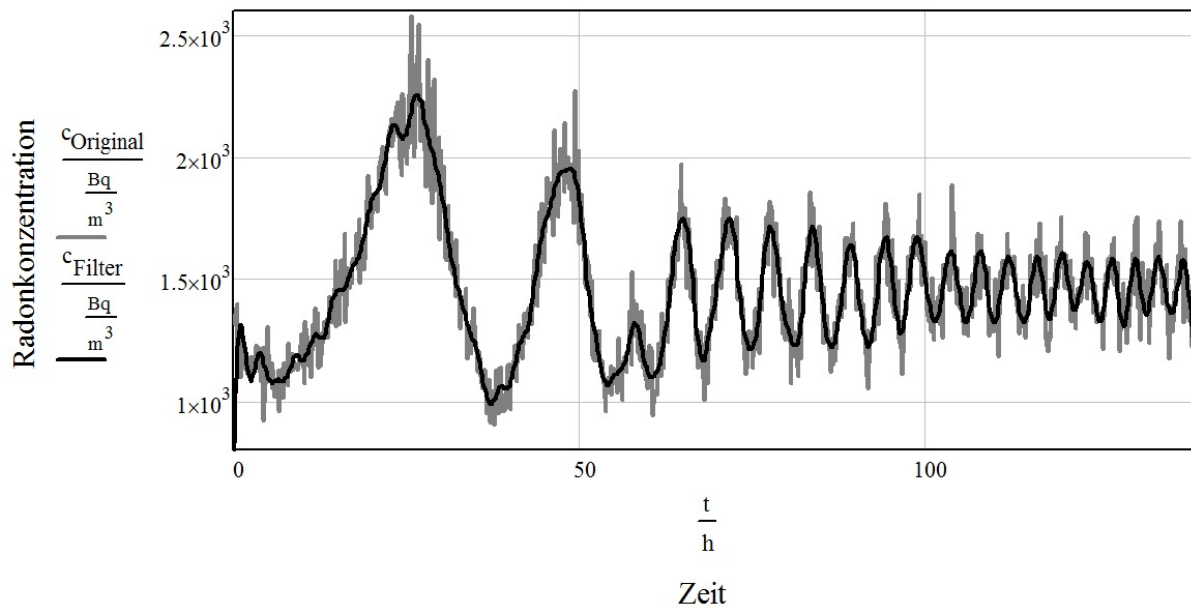
Die verwendete Messkammer besitzt ein Volumen von 10 m<sup>3</sup> und ist somit groß genug, um einen realen Raum nachzubilden, welcher begangen werden kann und dadurch ausreichend Platz für experimentelle Aufbauten liefert. Sie ist aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt, welche eine Wärmedämmung aus 60 mm PUR-Schaum und eine Edelstahloberfläche besitzen. Die Wärmedämmung bietet den Vorteil, dass sich die Innentemperatur unempfindlich gegenüber der Außentemperatur verhält. Um eine möglichst hohe Dichtheit der Kammerwand zu erreichen, werden die Fugen mit aluminiumkaschiertem Klebeband und Dichtmasse abgedichtet.

Zur Steuerung der Lüftung und somit zum Einstellen der Luftwechselrate kommt ein Lüfter zum Einsatz, dessen Umdrehungszahl über einen Mikrocontroller gesteuert wird. Der Mikrocontroller ist mit einem PC verbunden, welcher ermöglicht, beliebige Verläufe der Luftwechselrate einzulesen. Die tatsächlich an der Messkammer wirkende Luftwechselrate wird über ein Thermoanemometer ermittelt, welches in einer Messstrecke montiert ist. Die Messstrecke befindet sich wiederum am Zuluftkanal vor dem Lüfter.

Neben der Radonkonzentration werden alle notwendigen Klimaparameter in Zeitreihen aufgenommen.

## 6 Ergebnisse

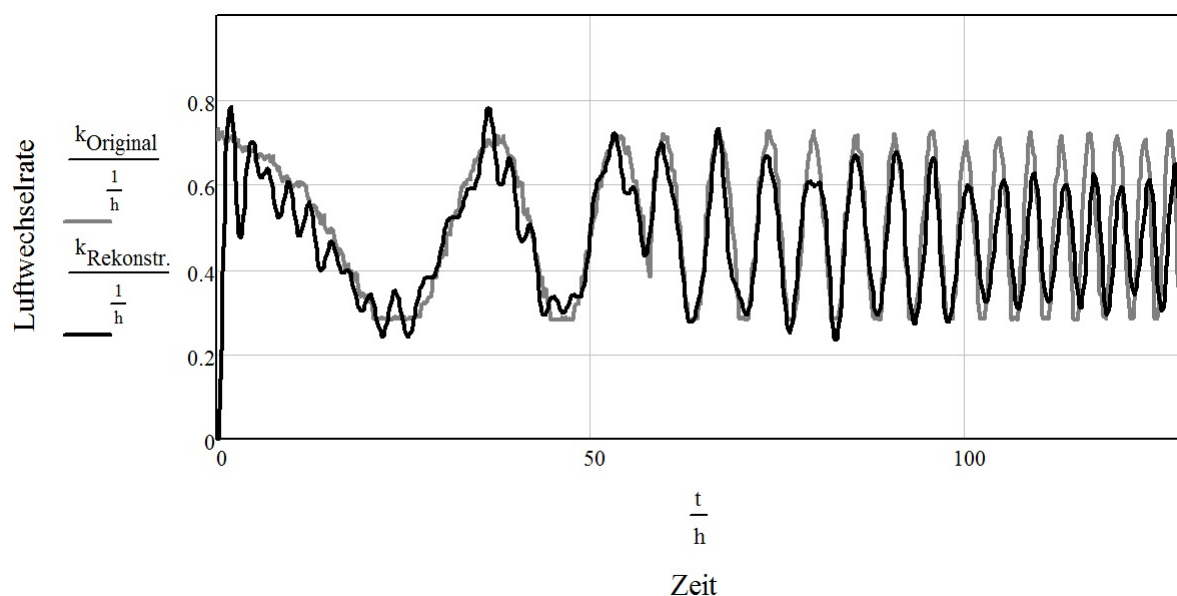
An der Messkammer wurden Messungen durchgeführt, wobei Uranerz als Radonquelle in die Messkammer eingebracht wurde. Für die verwendete Uranerzprobe wurde über Gl. 3 eine Quellstärke von  $Q_V = 670 \text{ Bq} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$  ermittelt. Im Folgenden Beispiel wurde über die Lüftersteuerung ein Cosinus-Verlauf der Luftwechselrate mit zunehmender Frequenz eingestellt. Den daraus resultierenden Verlauf der Radonkonzentration in der Messkammer zeigt Abb.. Zur Filterung des gemessenen Radonkonzentrationsverlaufs wird eine Rechteckfunktion mit der Breite 512 Samples verwendet, welches die hochfrequenten Frequenzanteile des Spektrums eliminiert und somit die Rauschanteile unterdrückt.



**Abb.2:** Gemessene Radonkonzentration (grau) in der Messkammer mit gefiltertem Verlauf nach Anwendung einer Fensterfunktion der Breite 512 Samples (schwarz)

Zur Rekonstruktion der Luftwechselrate aus dem gefilterten Verlauf der gemessenen Radonkonzentration wird durch Anwendung des Rekonstruktionsalgorithmus (siehe Gl. 3) iterativ der Verlauf der Luftwechselrate berechnet und in Abb. 3 dargestellt.





**Abb. 3:** Vergleich des Rekonstruierten Luftwechselratenverlaufs aus dem Verlauf der Radonkonzentration mit dem vorgegebenen Luftwechselratenverlauf

Abb. 3 zeigt, dass sich der rekonstruierte Verlauf der Luftwechselrate dem vorgegebenen Verlauf gut annähert. Allerdings ist zu erkennen, dass der rekonstruierte Verlauf teilweise mit Frequenzanteilen überlagert ist, welche sich durch nicht unterdrückte Rauschteile des Messsignals der Radonkonzentration ergeben. Eine stärkere Glättung des Messsignals der Radonkonzentration würde jedoch dazu führen, dass auch das Nutzsignal unterdrückt wird. Es muss somit für jede aufgenommene Messreihe ein individueller Kompromiss zwischen Unterdrückung des Nutzsignals und Nicht-Unterdrückung des Rauschteils geschlossen werden.

## 7 Diskussion

Mit Hilfe der vorgestellten Methode können zeitliche Verläufe der Radonkonzentration und der Luftwechselrate ineinander umgerechnet werden. Den Kern der Methode stellt die Ermittlung des Verlaufs der Luftwechselrate aus einem gemessenen Verlauf der Radonkonzentration dar. Im Gegensatz zu bisher zur Verfügung stehenden Methoden, welche keine zeitliche Auflösung der Luftwechselrate erlauben oder unter Prüfbedingungen erfolgen müssen, liefert die vorliegende Methode die zeitliche Auflösung der Luftwechselrate und eine Anwendung unter Alltagsbedingungen. Die Raumnutzung, welche einen wichtigen Einfluss auf die Luftwechselrate besitzt, kann komplett berücksichtigt werden. Einzig die Ermittlung der Radonquellstärke des zu untersuchenden Raumes erfolgt unter Prüfbedingungen.

An die in einem zu untersuchenden Raum vorzufindende Radonkonzentration bestehen gewisse Anforderungen, welche eventuelle Begrenzungen der Methoden beschreiben. Bei der Ermittlung der Radonquellstärke muss eine ausreichend hohe Sättigungskonzentration erreichbar sein, so dass eine auflösbare Sättigungskurve messbar wird. Kann keine Sättigungskurve aufgelöst werden, so ist auch eine Ermittlung der Radonquellstärke unmöglich. Bei Langzeitmessungen bestehen ähnliche Begrenzungen. Liegt eine zu geringe Radonkonzentration vor, so entstehen aufgrund des starken statistischen Rauschens Schwierigkeiten zum einen bei der Filterung des Messsignals und zum anderen bei der Rekonstruktion der Luftwechselrate. Eine Anwendung der Methode bei einem geringen Niveau der Radonkonzentration muss zunächst erprobt werden.

Die Filterung des Messsignals der Radonkonzentration führt zum einen zu einer Reduktion des Rauschteils, zum anderen jedoch auch zu einer Reduktion einzelner Frequenzanteile des

Nutzsignals. Dies hat zur Folge, dass der Originalverlauf der Luftwechselrate nur in den seltensten Fällen exakt rekonstruiert werden kann. Es handelt sich somit immer um eine Annäherung an die tatsächlich bestehende Luftwechselrate. Wie genau diese Annäherung erfolgen kann, hängt von den vorzufindenden Radonkonzentrationsniveaus und der Wahl der Filterparameter ab.

## 8 Ausblick

Je höher die Leistungsfähigkeit der Filterung erfolgen kann, desto exakter erfolgt die Rekonstruktion der Luftwechselrate. Aus der Leistungsfähigkeit der Filterung ergeben sich des Weiteren Anforderungen an das Niveau der vorzufindenden Radonkonzentration. Eine geringe Radonkonzentration kann dazu führen, dass zum einen die Radonquellstärke nicht ermittelt und zum anderen aufgrund des statistischen Rauschens der Radon-Messwerte die Luftwechselrate nicht rekonstruiert werden kann. Diese Anforderungen an das Niveau der Radonkonzentration sollen über weitere Messungen an der Messkammer untersucht werden. Dies wird unter Abstimmung mit der Integrationszeit der Radonmessung und der daraus resultierenden Zeitauflösung der rekonstruierten Luftwechselrate erfolgen.

Weitere genaue Betrachtung benötigt die Konstanz der Radonquellstärke. Da die Radonquelle in der Messkammer nur wenigen klimatischen Schwankungen unterworfen ist, kann eine Untersuchung auf Konstanz nur in tatsächlichen Wohnräumen untersucht werden. Dieser Sachverhalt soll ebenfalls geklärt werden.

Zur Herstellung eines Bezuges zur Qualität der Innenraumluft sollen mathematische Zusammenhänge der Luftwechselrate zu diversen Luftschadstoffen hergestellt werden. Hierbei kann es sich um beliebige Luftschadstoffe handeln, wie z.B. flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC), Formaldehyd oder CO<sub>2</sub>. Zur jeweiligen Modellbildung soll das in dieser Arbeit vorgestellte Modell herangezogen und je nach Schadstoff angepasst werden. Stehen zur Berechnung diverser Schadstoffkonzentrationen geeignete Modelle zur Verfügung, wird folgende Vorgehensweise angewandt. Zunächst wird nach der in dieser Arbeit vorgestellten Methode die Luftwechselrate aus der Radonkonzentration berechnet. In einem weiteren Schritt können über die jeweiligen Modelle Schadstoffkonzentrationen berechnet werden. Eine repräsentative Wahl der zu betrachtenden Schadstoffe kann schließlich eine Beurteilung der Qualität der Innenraumluft ermöglichen.

Die Modellbildung zur Berechnung einer Schadstoffkonzentration aus der Luftwechselrate bedarf eines hohen Aufwandes, da bei einer Vielzahl an Schadstoffen Wechselwirkungen zu anderen Stoffen und zu Klimaparametern bestehen. Sie soll daher nur für eine Auswahl der wichtigsten Luftschadstoffe erfolgen und somit in erster Linie dazu dienen, Werkzeuge zu liefern, welche nach Bedarf auf frei wählbare Schadstoffkombinationen angewendet werden kann.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Bau- und Umweltchemie Beratungen + Messungen AG, LIMOTEV - Luftqualität in Wohnbauten mit tiefem Energieverbrauch, Zürich, 2008
- [2] Umweltbundesamt, Gesundheit und Umwelthygiene - Richtwerte für die Innenraumluft, 07.05.2012, abrufbar im Internet:  
<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEv), Berlin, 2009
- [4] Gertis, K.: Radon in Gebäuden, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008

## **PRAKTISCHE VORGEHENSWEISE BEI DER SANIERUNG VON ALT- UND NEUBAUTEN**

### **PRACTICAL APPROACH WITH THE REHABILITATION OF OLD AND NEW BUILDINGS**

Hartmut Schulz

René Baumert

IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg

#### ***Zusammenfassung***

#### ***Summary***

## 1 Vorbemerkung zum Sach- und Kenntnisstand

Die "Bauqualität" eines Hauses übt den größten Einfluss darauf aus, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht. Ist das Haus praktisch radondicht, spielt die Radonverfügbarkeit des Baugrunds keine Rolle. Baumängel begünstigen jedoch im starken Maße das Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Wohngebäude und können zu nicht tolerierbaren Radonbelastungen führen, ohne dass dabei die Radonkonzentrationen in der Bodenluft besonders hohe Werte erreichen müssen [1], [2].

Vor allem in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz  $\Delta T_i$  bzw. der Druckdifferenz  $\Delta p_i$  zwischen einzelnen Hausräumen  $i$  oder zwischen der Innenraumluft und der Außenatmosphäre werden konvektive Luftströmungen induziert, die jahres- und tageszeitliche Charakteristika aufweisen. Diese sind auch für die Infiltration von radonhaltiger Bodenluft aus dem Baugrund in ein Haus von signifikanter Bedeutung. Das Haus selbst übt aufgrund seiner vergleichsweise hohen mittleren Innentemperatur von  $\geq 20$  °C den größten Einfluss auf das Radontransportverhalten zwischen dem Haus und dem umgebenden Baugrund aus.

In Wohngebäuden, die in den letzten 20 - 30 Jahren gebaut wurden, werden oft die Keller auch als Wohn- oder Arbeitsräume genutzt bzw. beim Bau als solche konzipiert, so dass aufgrund der bestehenden Temperaturdifferenzen praktisch in jeder Jahreszeit das Haus auf die umgebende Bodenluft des Baugrunds einen permanenten Unterdruck ausübt. Beim Vorhandensein von Leckagen leistet der damit verknüpfte Saugeffekt dem Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Haus Vorschub. Die Situation ist völlig analog bei Häusern ohne Keller, da immer ein starkes Temperaturgefälle zwischen dem Hausinnenraum und der Bodenluft unterhalb der Bodenplatte besteht.

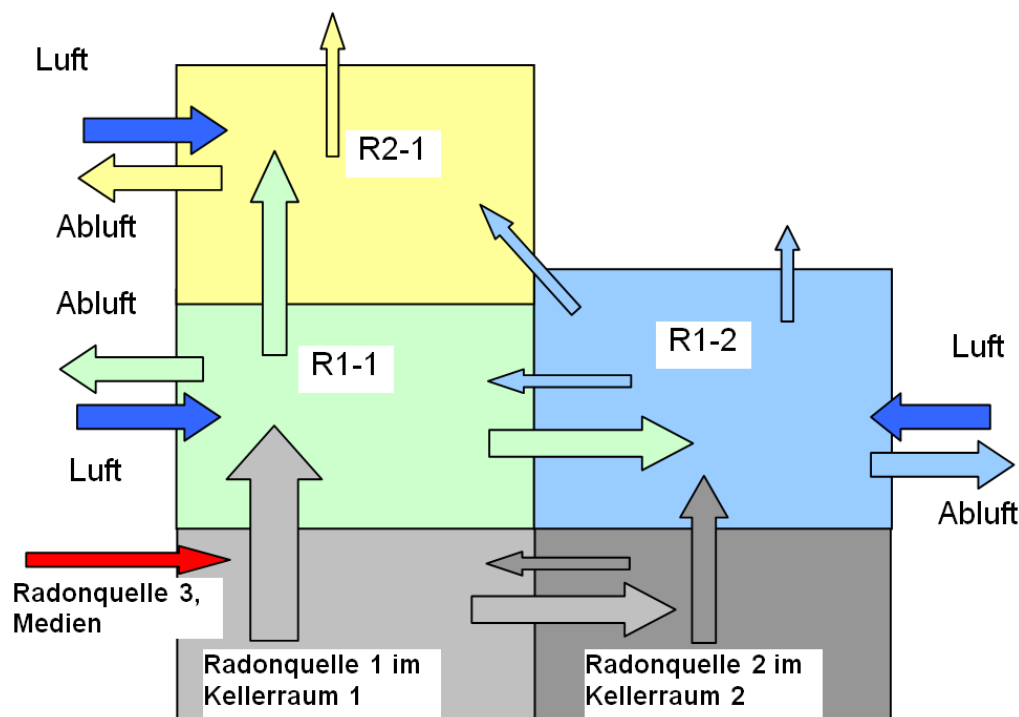
Die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen wird auch durch die Höhe des Luftwechsels entscheidend mitbestimmt. Eine Mindestlüftung verfolgt das Ziel der Abwehr von Risiken für Mensch und Bausubstanz, so dass sowohl gesundheitsschädigende Raumluftzustände als auch Tauwasserbeziehungsweise Schimmelpilzbildung verhindert werden können. Aus den Recherchen folgte, dass von einer verhältnismäßig geringen Luftwechselrate von etwa  $0,2 \text{ h}^{-1}$  für ca. 50% des Altbaubestandes sowie von noch geringeren Luftwechselzahlen für Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser auszugehen ist [3]. Dieser Tatbestand impliziert, dass sowohl der Radonfreisetzung aus den Baumaterialien als auch der Radondichtheit des Gebäudes zur Vermeidung einer Ankopplung an das "Radonreservoir" Bodenluft im Baugrund besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Der Kenntnis über den in einem Gebäude herrschenden Luftwechsel kommt somit eine herausragende Bedeutung zu, um z.B. die mögliche Radonkonzentrationserhöhung bei Verringerung des Luftwechsels im Zuge von Energiesparmaßnahmen eingrenzen zu können (s. z.B. [3], [4], [5]).

## 2 Zur Bestimmung des Radonquellterms eines Hauses

Die Bestimmung des Radonquellterms eines Hauses beruht auf der Prämisse [2], die zeitgleiche Entwicklung der Radonkonzentration in allen Räumen des Hauses aufzuzeichnen und über das Produkt von Raumgröße, multipliziert mit der Radonkonzentration, eine zeitliche Entwicklung der Radonquellstärke in allen Räumen und damit auch der Gesamtquellstärke abzuleiten.

Einen modellhaften Überblick über mögliche lufttechnische Kopplungen unterschiedlicher Radonquellen und -reservoirs sowie des Radontransports in zwei Kellerräumen, in zwei Zimmern des Erdgeschosses und einem Zimmer in der 1. Etage gibt die Abb. 1. Zur Vereinfachung der Gesamtsituation hinsichtlich des Radontransfers ist angenommen, dass die mittlere Radonkonzentration in einem Raum durch einen bestimmten Farbton charakterisiert ist. Somit ist der Radontransfer in andere Räume bzw. in die Außenatmosphäre durch die jeweilige Radonkonzentration durch den jeweiligen Farbton in Form von Pfeilen dargestellt.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Kopplungen unterschiedlicher Radonquellen und -reservoirs sowie des Radontransports in zwei Kellerräumen, in zwei Zimmern des Erdgeschosses und einem Zimmer in der 1. Etage. Die farbliche Unterlegung schematisiert die unterschiedlichen Radonkonzentrationen in den Räumen.

Ein wichtiges Element der zeitabhängigen Beschreibung des Radontransports in einem Haus ist die Berücksichtigung der Erhaltungssätze für den Luftaustausch in allen Räumen des Hauses. Es gilt allgemein:

$$\sum_i q_i^{\text{in}} = \sum_j q_j^{\text{out}} \quad (1)$$

wobei  $q_i^{\text{in}}$  alle in einen Raum hineinkommenden Luftströme und  $q_j^{\text{out}}$  alle aus einem Raum austretenden Luftströme bezeichnet. In  $q_i^{\text{in}}$  sind gemäß Abb. 1 für den Raum R1-1 die Radonquelle im Keller, die Frischluftzufuhr aus der Atmosphäre und die angenommene Radonzufuhr aus dem Raum R1-2 enthalten, während  $q_j^{\text{out}}$  alle aus dem Raum austretenden Luftströme (Abluft in die Atmosphäre, Transfer in den Raum R1-2, Transfer in die 1. Etage etc.) erfasst. Die obige Gleichung kann auch in das folgende System umgeschrieben werden

$$\sum_i Q_i^{\text{in}} - \sum_j Q_j^{\text{out}} = 0 \quad (2)$$

$$\sum_k T_k^{\text{in}} - \sum_l T_l^{\text{out}} = 0 \quad (3)$$

wobei  $Q_i^{\text{in}}$  und  $Q_j^{\text{out}}$  die in das gesamte Haus von außerhalb (Atmosphäre bzw. Untergrund) eintretenden bzw. austretenden Luftströme (Atmosphäre) enthalten, während  $T_k^{\text{in}}$  und  $T_l^{\text{out}}$  die innerhalb des Hauses ausgetauschten Luft- bzw. Radonströme einbeziehen. Beide Gleichungen (2) und (3) müssen deshalb immer gleichzeitig erfüllt sein.

Die Summe  $\sum_i Q_i^{\text{in}}$  erfasst somit die durch den Luftwechsel bedingten Frischluft- sowie die Radonzufuhr aus den externen Quellen im Untergrund. Die Summe  $\sum_j Q_j^{\text{out}}$  beinhaltet die gesamte aus dem Haus in die umgebende Atmosphäre abgegebene radonhaltige Luft. Der Radontransfer innerhalb des Gebäudes, d.h. von einem Raum in einen anderen oder auch wieder zurück in den Ausgangsraum besitzt gemäß Abb. 1 eine sehr einfache Struktur, d.h.  $\sum_k T_k^{\text{in}} = \sum_l T_l^{\text{out}}$ . Die wichtigen Radonquellterme bzw. Radonfrachtterme, genauer zu bezeichnen als Radonquellstärken bzw. Radonfrachten, ergeben sich aus dem Produkt von  $\sum_i Q_i^{\text{in}} \cdot C_i$ , wobei  $C_i$  die Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen bezeichnen. In Abhängigkeit von den jeweilig angenommenen Kopplungen und den Radonquelltermen, wobei zwischen den konvektiven Strömungen aus den unterschiedlichen Radonreservoirs in das Gebäude und der Radongeneration durch die Baumaterialien unterschieden ist, ergibt sich ein gekoppeltes System von Differentialgleichungen, das die Radonkonzentrationsentwicklung in jedem einzelnen Raum beschreibt. Dieses System kann numerisch gelöst werden [6], wobei die Kopplungen nicht zeitunabhängig und z.B. komplizierte Funktionen der Druck- oder Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen oder weiterer meteorologischer Größen, vor allem des anliegenden Windes, sind. Die entsprechenden funktionalen Abhängigkeiten müssen bekannt bzw. in Form von Messwerten vorliegen. Der Grad der Komplexität des Gleichungssystems wird dabei hauptsächlich durch die Anzahl der Räume bestimmt.

### 3 Vorgehensweise der Firma IAF - Radioökologie GmbH bei der Sanierung von Alt- und Neubauten

Um eine Radonsanierung von Alt- oder Neubauten ins Auge fassen zu können, wird bei der Firma IAF - Radioökologie GmbH eine standardisierte Vorgehensweise angewendet. Sie beruht darauf, zunächst belastbare Informationen über das Systemverhalten eines Hauses hinsichtlich des Radontransports und über die Stärke der Radonquellen zu gewinnen. Dabei werden je nach Hausgröße bis zu 15 Radonmonitore eingesetzt und die Radonkonzentrationen in allen oder nahezu allen Räumen über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgezeichnet. Nur das gleichzeitige Visualisieren der Radonkonzentrationsverläufe in allen Räumen über einen bestimmten Zeitraum manifestiert auf anschauliche Weise, wie der Radontransport innerhalb des Hauses erfolgt und wo letztlich der Radoneintritt in das Haus erfolgt. Ein zusätzlich wichtiges Element für die Einschätzung des Radontransfers im Haus stellt die Berechnung der Gesamtradonaktivität in den einzelnen Räumen und Etagen dar. Diese Größe liefert somit einen direkten Hinweis darauf, welche Radonfrachten z.B. vom Keller in das Haus transportiert werden.

Wichtige zusätzliche Informationen zum Radontransfer innerhalb eines Hauses können z.B. auch gewonnen werden, wenn die Radonkonzentrationen in allen Räumen innerhalb des Hauses durch eine entsprechende Querlüftung auf das Niveau der Außenluft abgesenkt wird und anschließend die zeitliche Entwicklung der Radonkonzentration für mehrere Stunden in allen Räumen "aufgezeichnet" wird. In vielen Fällen liefert bereits auch das Erfassen des Absenkens der Radonkonzentration im Zuge der Querlüftung wichtige Informationen über die Kopplungen und die Stärke der Radoneintrittspfade (Radonquellterme). Durch das gleichzeitige Aufzeichnen der Raumtemperaturen können bereits aus den Temperaturdifferenzen Schlussfolgerungen darüber gezogen werden, wie die

Radonmigration tatsächlich erfolgt. Das Haus als Ganzes wird bei dieser von IAF praktizierten Vorgehensweise wie eine große Exhalationsbox betrachtet, die auf dem Baugrund aufgesetzt ist.

Als sehr praktisch hat sich erwiesen, aus dem Anstieg der Radonkonzentration im Keller nach erfolgter Lüftung den verallgemeinerten Radonquellterm direkt zu bestimmen. Dabei werden die zum Zeitpunkt der Messung herrschenden klimatischen Bedingungen implizit mit berücksichtigt. Durch Wiederholung der Messungen kann z.B. die Abhängigkeit dieses verallgemeinerten Radonquellterms von der Sommer-/Wintersaison und anderen Einflussparametern bestimmt werden. Durch die Messung der Radonkonzentrationsentwicklung in allen anderen Räumen steht ein kompletter Datensatz zur Verfügung, der sofort mit einem von der IAF - Radioökologie GmbH entwickelten Programm ausgewertet werden kann.

## 4 Radonschutzmaßnahmen

Radonschutzmaßnahmen sind z.B. im Radonhandbuch [7] beschrieben und werden nicht näher erläutert. Im Vordergrund steht hier die Verifizierung des Erfolgs von Radonschutzmaßnahmen bzw. das Erkennen der Radoneintrittspfade und ihrer Relevanz in bereits existierenden Häusern. Die Bauqualität eines Hauses übt den größten Einfluss darauf aus, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht. Ist das Haus praktisch als "radondicht" zu bezeichnen, spielt die Radonverfügbarkeit des Baugrunds keine Rolle. Weist das Haus andererseits Leckagen auf, die einen Radoneintritt begünstigen, sind die Größe des summarischen Radon-Eindringfensters und die im Haus herrschenden Druckverhältnisse die entscheidenden Größen, die die Radoneintrittsrate bestimmen und nicht die Höhe der Radonkonzentration in der Bodenluft des Baugrunds.

Die etwa in 20-jähriger Tätigkeit gesammelten Erfahrungen der Firma IAF - Radioökologie GmbH auf diesem Gebiet zeigen, dass nicht eine unzutreffende Einschätzung der Radonsituation vor Baubeginn, sondern vor allem Baumängel und zu geringe Luftwechselraten die Ursachen von hohen Radonbelastungen in neu errichteten Häusern oder in einem Altbau sind. Das gilt insbesondere auch für Häuser in Gebieten mit einem vernachlässigbaren Radonrisiko. Bei gravierenden Baumängeln können nicht tolerierbare Radonkonzentrationen in jedem Haus auftreten, ohne dass dabei die Radonkonzentrationen in der Bodenluft besonders hohe Werte annehmen müssen.

Die nachfolgend aufgelisteten Feststellungen beziehen sich ausschließlich auf neugebaute oder grunderneuerte Häuser und beruhen auf den Erfahrungen, die bei der IAF - Radioökologie GmbH in den letzten 20 Jahren im Bereich des Radonschutzes gesammelt wurden.

- Als eine Hauptursache für erhöhte Radoninnenraumradonkonzentrationen erwiesen sich:
  - "radonundichte" Durchörterungen für Abwasser (Toiletten, Bad, Küche, etc.) der Grundplatte bei Häusern ohne Keller und
  - bei Häusern mit Keller zusätzlich diese Art von funktionalen Durchörterungen in senkrechten Kellerwänden.
- Ein weiteres Problem stellen Leerrohre für Zuführungen von Telekommunikations-, Elektro-, Gasleitungen dar, wenn diese nicht radondicht durchgeführt und die in den Leerrohren verbleibenden teils großen Zwischenräume nicht abgedichtet bzw. verfüllt werden.
- Auch trockene Siphons (Geruchsverschlüsse) können als zusätzliche Radoneintrittspfade fungieren, da sich z.B. in Abwasserkanälen je nach geologischer Situation und der Ankopplung an das Radonreservoir zum teil beträchtliche Radonkonzentrationen bilden können. Dies gilt auch für andere Medienkanäle.
- Die Grundplatten sind nach Erfahrung der IAF - Radioökologie GmbH als ausreichend radondicht zu bezeichnen, zumal die oft zusätzlich als Feuchtigkeitsschutz aufgebrachtten Bitumenbahnen mit Radondichtheitszertifikat das Restrisiko durch das Auftreten von kleinsten Rissen bzw. Luftwegsamkeiten weiter reduzieren und überdies zu keinen nennenswerten Mehrkosten im Vergleich zu Dichtungsbahnen ohne Radonzertifikat führen.
- Probleme hinsichtlich des wirksamen Radonschutzes können jedoch im Gegensatz zu den gegossenen Grundplatten nicht fachgerecht errichtete senkrechte Kellerwände bereiten. Hier

sind z.B. die Übergänge zur Grundplatte und die Fugen zwischen vorgefertigten Wandsegmenten zu nennen.

- Werden Häuser mit weißer Wanne gebaut, so ist dies nach Erfahrungen der IAF - Radioökologie GmbH ein ausreichender Radonschutz, wenn, wie oben beschrieben, die Medieneinbindungen etc. radondicht ausgeführt worden sind.
- Ein Keller, der dauerhaft von Boden mit hohen Wassergehalten umgeben ist, kann zumindest für den Bereich der gesättigten Bodenzone als total radondicht bezeichnet werden, da die Radondiffusionskonstante im Wasser etwa 4 - 5 Größenordnungen niedriger als die für den Bodenlufttransport ist. Auch hier ist für die Medieneinbindungen oberhalb der Grundwasserlinie die Radondichtheit nachzuweisen und die Funktionstüchtigkeit der Siphons zu garantieren. Anderenfalls kann, wie Beispiele gezeigt haben, auch ein Haus mit Keller als weiße Wanne, umgeben von Bodenwasser, erhöhte Innenraumradonkonzentrationen aufweisen.

Die radiologischen Messungen zum Nachweis der Radondichtheit der Gebäudehülle sollten schrittweise während der Bauphase und nicht erst nach Fertigstellung des Hauses bzw. des sanierten Altbaus erfolgen. Die Lokalisierung und Beseitigung von Leckagen, die den Radoneintritt in ein Haus begünstigen, ist nach Beendigung des Hausbaus oder nach Bezug des neuen Hauses immer mit teils unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden.

Es hat sich als günstig erwiesen, zunächst in einem 1. Schritt die Radondichtheit von allen Durchörterungen und diversen anderen Durchführungen zu prüfen, bevor der weitere Aufbau des Fußbodens, d.h. das Verkleben der Bitumenschweißbahnen zum Feuchtigkeitsschutz, des Einbaus der Fußbodendämmung und Aufbringung der Estrichböden in Alt- und Neubauten realisiert wird. Bereits aufgetragener Estrich und Feuchtigkeitsschutz erweisen sich als sehr hinderlich und kostentreibend, wenn erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen bestimmt wurden und Leckagen zu lokalisieren sind. Als Erfahrungswert liegt bei IAF - Radioökologie GmbH vor, dass ca. 3 von 10 Durchörterungen nachgearbeitet werden müssen. Die Radondichtheitsprüfung von fertiggestellten Durchörterungen kann während des weiteren Bauablaufs erfolgen. Werden so viele Radonmonitore eingesetzt, wie z.B. Durchörterungen in einem Einfamilienhaus vorhanden sind, entstehen praktisch nur geringe Mehrkosten.

Ist die Radondichtheit nachgewiesen, sollte in einem 2. Schritt durch entsprechende Messungen geprüft werden, ob Radon durch noch nicht identifizierte Leckagen in das Haus bzw. in den Keller eindringt. Zweckmäßig und kostengünstig ist auch hier so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Haus Räume hat [2].

Sind keine Leckagen zu besorgen, quantifizieren die charakteristischen zeitlichen Anstiege der Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen die Radonfreisetzung der Baumaterialien und liefern somit den wichtigsten Hinweis darauf, wie hoch ein Luftwechsel in dem neuen Haus sein muss, damit die Radoninnenraumkonzentration den vorgegebenen Zielwert nicht übersteigt [2], [8].

In diesem Zusammenhang sind jedoch auch zusätzlich direkte Luftwechsellmessungen und Messungen von Differenzdrücken, z.B. zwischen Keller und dem Erdgeschoss zu empfehlen.

Da Radon nicht nur vorrangig von unterhalb der Bodenplatte, sondern ebenso von der "Seite" in den Keller eindringen kann, ist dies ist unbedingt bei den Dichtigkeitsprüfungen zu beachten. Das gilt insbesondere, wenn wie oben ausgeführt, senkrechte Kellerwände aus Fertigelementen aufgebaut und auf die Grundplatte aufgesetzt werden und überdies kein besonderer Feuchtigkeitsschutz aufgebracht wird. Ebenso ist bei einer Altbausanierung darauf zu achten, dass oftmals auch die aufgemauerten Ziegelwände der Keller, die mit dem umgebenden Erdreich in einem direkten Kontakt stehen, eine nicht zu unterschätzende "Leckagefläche" sein können. Bei Trockenlegungen von Bauwerken sollte der Radonschutz mit ins Auge gefasst werden, da trockene Wände eine Radonpenetration im Vergleich zu nassen Wänden stark begünstigen können.

Es ist auch zu empfehlen, nach der Installation der Heizung bei hohen Innenraumtemperaturen die Radonmessungen über mindestens 2 Tage auszudehnen. Damit kann überprüft werden, ob durch den durch Temperaturerhöhung induzierten Unterdruck die Radondichtheit gegeben ist. Auch bei dieser einfachen Überprüfung ist vorteilhaft und kostengünstig, möglichst so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Haus Räume hat [2].



Ob Messungen der Radoninnenraumkonzentrationen nach der Fertigstellung eines Hauses im Zuge der Übergabe des Hauses oder des sanierten Altbaus durchgeführt werden sollen, hängt von den Vereinbarungen zwischen Baufirma und Bauherrn ab. Sollte dies gefordert werden, so sind die Messungen mindestens in allen Räumen über ca. 1 Woche auszudehnen. Dabei ist jedoch unbedingt darauf hinzuweisen, dass wegen der möglicherweise stark eingeschränkten Nutzung des Hauses und des damit verknüpften niedrigen Luftwechsels höhere Radonkonzentrationen gemessen werden als bei normaler Hausnutzung.

Zur Überprüfung der Radonkonzentrationen in einem bewohnten Haus ist es üblich, die Radonkonzentrationen durch integrierende Langzeitmessungen zu bestimmen. Dabei wird jedoch die Radonkonzentration in den Räumen unabhängig von der Nutzung ermittelt, so dass diese Mittelwerte nur bedingt Rückschlüsse auf die tatsächliche Exposition liefern können. Man kann deshalb Lang- und zeitaufgelöste Kurzeitmessungen miteinander kombinieren. Im Ergebnis der Untersuchungen in [2] wurde nachgewiesen, dass die zeitaufgelösten Messungen den entscheidenden Vorteil besitzen, Informationen über das Systemverhalten des gesamten Hauses und die Ursachen von erhöhten Radonkonzentrationen zu gewinnen.

Abschließend ist zu bemerken, dass über die Luftwechselzahlen in neu gebauten Häusern in Zusammenhang mit Innenraumradonkonzentrationen praktisch keine Informationen vorliegen. Es sollte deshalb in Zusammenhang von Überprüfungsmessungen diesem Problem besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, d.h. entweder durch direkte Luftwechselfmessungen oder indirekt durch Modellierung von Ergebnissen zeitaufgelöster Kurzzeitmessungen. In jedem Fall ist es wichtig zu ergründen, ob eventuell erhöhte Radonkonzentrationen nur eine Folge einer zu geringen Lüftung sind.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] "Radon in öffentlichen Gebäuden", IAF, WISMUT, GEOPRAX, BPS im Auftrag des Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, 2005/2006.
- [2] Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Entwicklung zeit- und kosteneffektiver Verfahren zur Bestimmung von Strahlenexpositionen durch Radon in Wohnungen (StSch 4534), IAF - Radioökologie GmbH und B.P.S. Engineering GmbH im Auftrag des BfS, Januar 2010
- [3] H. Schulz, "Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden", Sächsischer Radontag 2007
- [4] W. Löbner, Luftaustausch in Gebäuden – Bestimmung der Luftwechselraten in Räumen, Vortrag SMUL Dresden, KORA Dresden, September 2006 und Referenzen in diesem Vortrag
- [5] W. Löbner, H. Schulz, Ermittlung des Quellterms durch Kombination von Messungen der Rn-Konzentration und Tracergasmessungen, Radon Workshop des BfS, November 2006, Berlin und Referenzen darin
- [6] H. Schulz, Modellierung der Radonkonzentrationsentwicklung in einem Haus als Multi-Kompartiment-Problem, IAF - Radioökologie GmbH, Interne Berichte
- [7] R. Lehmann & H. Landfermann & A. Junkers & U. Schöppler (September 2001) Radonhandbuch Deutschland, Braunschweigdruck GmbH Druck Verlag Medien 38112 Braunschweig
- [8] R. Gellermann, H. Schulz, "Erhöhte natürliche Radioaktivität in Baugrund und Baustoffen - neue Anforderungen an die Ingenieurplanung Planen und Bauen", Beratende Ingenieure, September 2004, Springer-VDI-Verlag, 26 – 31



# **RADONSCHUTZ AN GEBÄUDEN – ERFAHRUNGEN UND SACHSTAND**

## **RADON PROTECTION IN BUILDINGS - EXPERIENCES AND STAGE OF PROCEEDINGS**

Julia Gilberg

Freie Universität Berlin, Berlin

### **Zusammenfassung**

*Seit im Februar 2010 ein Entwurf für eine Neufassung der EURATOM Basic Safety Standards durch die EU veröffentlicht wurde, rückt die internationale Radon-Problematik auch in der deutschen Politik stärker in den Mittelpunkt. Erstmals wurden Regelungen für einen Grenzwert der Radonkonzentration in Gebäuden formuliert, die laut Zielsetzung spätestens 2013 durch die EU-Gremien beschlossen werden sollen. Von diesem Zeitpunkt aus ist es nur noch eine Frage der Zeit, bis die festgesetzten Regelungen in nationales Recht überführt werden. Gleichzeitig werden die Anforderungen an radonsicheres Bauen und Sanieren steigen und die Bau- und Werkstoffindustrie vor neue Herausforderungen stellen.*

### **Summary**

*In February 2010 the EU published a revised version of the EURATOM Basic Safety standards. For this reason, international radon politics have become a stronger focus of German politics as well. For the first time regulations containing a limit for radon concentrations in buildings were formulated. This limit should be adopted by the EU committees in 2013 at the latest. From this time on it will only be a matter of time until the regulations will be transposed into national law. At the same time the requirements regarding construction and modernisation will increase and set new challenges for the building and material industries.*

*„Wir können das Radon nicht aus dem Boden entfernen, wir können aber ohne große zusätzliche Kosten so bauen und sanieren, dass das Radon in Zukunft kein Problem mehr darstellen sollte.“ (Dr. Luigi Minach 2003)*

## **1 Allgemeine Informationen**

### **1.1 Gesundheitsrisiko Radon**

Radon ist ein natürliches, im Erdreich auftretendes, radioaktives Edelgas. Es ist auch in hohen Konzentrationen unsichtbar, farb- sowie geschmacklos, weder brennbar noch explosiv, und völlig geruchlos. Der Mensch kann es nicht wahrnehmen und erkennt das damit verbundene Risiko nicht. Das durch die Atemluft aufgenommene Radon, inklusive dessen radioaktive Zerfallsprodukte, können bei einer langjährigen Inhalation Lungenkrebs verursachen. Nach Aussagen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sind „ca. 7 % der Lungenkrebserkrankungen in Deutschland dem Radon und seinen Folgeprodukten anzulasten, d.h. 2.000 Erkrankungen pro Jahr“ (BMU 2004). Radon tritt vor allem im Boden auf und entsteht aus den natürlichen Zerfallsreihen des Urans und Thoriums. Die gebildeten Zwischenprodukte zerfallen über die Isotope des Radiums in das radioaktive Edelgas Radon. Als Endprodukte entstehen stabile Bleisotope. In Folge der Zerfallsprozesse der radioaktiven Elemente wird ionisierende Strahlung freigesetzt.

Die seit der Entstehung unserer Erde in Gesteinen vorkommenden radioaktiven Stoffe hängen maßgeblich von den geologischen Lagerungsbedingungen, den physikochemischen Eigenschaften der Radionuklide sowie den gesteinsbildenden Prozessen ab und weisen folglich erhebliche Unterschiede auf. Radon kommt vermehrt in Konzentrationen von  $>30.000 \text{ Bq/m}^3$  in Porenräumen des Erdreiches vor und breitet sich in Abhängigkeit von der Materialstruktur infolge der Konzentrationsunterschiede durch Diffusion und infolge von Druckunterschieden durch konvektiven Transport in Richtung Oberfläche aus. Somit kann Radon sowohl in das Grund- und Oberflächenwasser gelangen als auch von Pflanzen, Tieren und dem Menschen direkt aufgenommen werden und bildet seit jeher einen erheblichen Anteil der natürlichen Strahleneinwirkungen auf den menschlichen Körper.

### **1.2 Radon in Wohnräumen**

Es wurde bereits erläutert, dass sich Radon auf mehrere Arten ausdehnen und verbreiten kann (Temperatur und Druck). Ist ein Gebäude gegenüber dem Untergrund geringfügig undicht (Risse, undichte Rohrleitungen), kann das Edelgas unbemerkt in die Wohnräume eindringen. Während sich Radon in der freien Luft um das 1.000-fache verdünnt, dringt das sich im Boden befindende Radon ohne merkliche Verdünnung in das Gebäude. Zusätzlich wird das Eindringen des Edelgases durch Temperaturunterschiede gefördert. Wenn im Gebäude eine höhere Temperatur als im umliegenden Boden herrscht, kann die mit Radon gespeiste Bodenluft durch den entstandenen Unterdruck aus einem Umkreis von bis zu 20 Metern angezogen und anschließend in das Gebäude transportiert werden. Mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen kann Radon über längere Zeit in Gebäuden verbleiben und seine radioaktiven Zerfallsprodukte freisetzen. Zusätzlich zum Eindringen von Bodenradon in Gebäude durch Undichtigkeiten, kann Radon auch aus Baumaterialien freigesetzt werden. Besonders bei der Verwendung von Natursteinen oder bergbaulichen Rückständen mit erhöhten Radiumgehalten als direkte Baustoffe, kann die Radonkonzentration im Gebäude stark ansteigen.

## 1.3 Rechtlicher Hintergrund

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es bis zum heutigen Zeitpunkt keine gesetzlichen Regelungen zu Grenz- bzw. Referenzwerten der Radonkonzentration in Wohnräumen. Obwohl schon lange über ein Radonschutzgesetz diskutiert wird, gibt es bislang keine gesetzlichen Regelungen, die Radon-Messungen in Wohngebäuden vorschreiben. Die Strahlenschutzkommission (SSK) erklärte bereits 2005, dass bei Radonwerten von 100 bis 200 Bq/m<sup>3</sup> eine Erhöhung der Lungenkrebsrate gegeben sei. Anschließend legte das Bundesumweltministerium einen Entwurf für ein Radonschutzgesetz mit einem Zielwert von 100 Bq/m<sup>3</sup> für Neu- und Altbauten vor, der jedoch von den Bundesländern als unrealistisch in der Umsetzung eingeschätzt und deshalb abgelehnt wurde (vgl. Helmholtz Zentrum München 2010). Die deklarierten Richtwerte waren das Ergebnis kontinuierlicher langjähriger Diskussionen der ICRP, EU und WHO, die in etwa gleichzeitigen Veröffentlichungen dieser internationalen Interaktionen mündeten. Empfehlungen der International Commission on Radiological Protection (ICRP) sowie der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für einen Zielwert von 100 Bq/m<sup>3</sup> bzw. einen Maßnahmenwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> in Wohnräumen, führten zu einem neuen Entwurf der Basic Safety Standards durch die International Atomic Energy Agency (IAEA). Von der Europäischen Kommission wurde 2010 eine Neufassung der EURATOM- Richtlinien zum Schutz vor den Gefahren ionisierender Strahlung vorgelegt, wonach die Mitgliedstaaten verbindliche Referenzwerte für die Radonkonzentration in Gebäuden einhalten sollen. Diese sollen 200 Bq/m<sup>3</sup> in neuen Wohnräumen und öffentlich zugänglichen Gebäuden, 300 Bq/m<sup>3</sup> in bestehenden Wohnräumen sowie bestehenden öffentlich zugänglichen Gebäuden und in Ausnahmefällen (kurze Aufenthaltsdauer) 1.000 Bq/m<sup>3</sup> betragen. Die Mitgliedstaaten sollen sich zudem verpflichten, Maßnahmen zur Verringerung der Radonwerte in Wohnräumen zu treffen und regelmäßige Messungen in radonbelasteten Gebieten durchzuführen (vgl. EURATOM 2011).

## 2 Radonsicheres Bauen und Sanieren

### 2.1 Vorgehensweise

Die Vorgehensweisen bei einer Radonbelastung in einem bestehenden Gebäude oder in Bezug auf die Prävention bei Neubauten unterscheiden sich maßgeblich. Während bei Neubauten die Maßnahmen zuverlässig kalkuliert und finanziell sicher definiert werden können, ist bei der Radonsanierung ein Abwägen der alternativen Möglichkeiten, aufgrund der bereits bestehenden Bausubstanz, unumgänglich. Grundlage jeder Schutzmaßnahme sollte eine Erkundung der Ursache der erhöhten Radonkonzentration sein. Jedes Gebäude verfügt über Charakteristika, wie das spezifische Umfeld (z.B. Beeinflussung durch den Bergbau) oder bauliche Besonderheiten (z.B. Gebäudeisolierung), die ausschlaggebend für die Radonkonzentration sein können. Zudem sollten nach jeder Art der Radonsanierung bzw. des Radonsicheren Baus sämtliche Maßnahmen auf ihre Funktionalität geprüft werden.

Es lassen sich fünf Grundelemente eines zweckmäßigen Vorgehens festhalten. Zu Beginn jedes Bauvorhabens sollte eine fachliche Beurteilung der Radonbelastung des betreffenden Gebietes bzw. des Gebäudes stattfinden. Bei Neubauten sind Informationen über die Radonbelastung des Gebietes zu beschaffen, im Gegensatz zu bestehenden Gebäuden, bei denen Radonmessungen unabdingbar und die Grundlage jeder Maßnahmenplanung sind. Die jeweilige Belastung gibt schließlich Aufschluss über die nötigen Maßnahmen zur Reduzierung der jeweiligen Radonkonzentration. Bevor jedoch mit aufwendigen baulichen Maßnahmen begonnen wird, sollte vorab über Alternativen nachgedacht werden. Gegebenenfalls kann bei bestehenden Gebäuden auf die Nutzung von Wohn- und Aufenthaltsräumen im Kellerbereich verzichtet werden. In jedem Fall sollten sämtliche Maßnahmen zu abgestimmten Paketen zusammengestellt werden, d.h. dass stets Kombinationen von beispielsweise Dichtungs- und Lüftungsmaßnahmen verwendet werden sollten. Dies ist besonders bei Radonsanierungen von Bedeutung, da hier die Kosten nicht absehbar sind und somit zweckmäßig mit einfachen Maßnahmen begonnen werden sollte. Bei der Ausführung der jeweiligen

Maßnahme ist eine stetige Überwachung der Spezialelemente (z.B. Radondichte Folie) sowie deren Montage von Nöten, da so eventuelle Beschädigungen umgehend beseitigt werden können. Nach der erfolgreichen Ausführung der Schutzmaßnahmen sollten regelmäßige Erfolgskontrollen- und Messungen durchgeführt werden, um die Funktionalität der einzelnen Elemente überprüfen zu können und gegebenenfalls Mängel zu beheben. Zusammenfassend sind die strategische Planung, die Beweissicherung und eventuelle Vorstudien, das Vorprojekt bzw. das Projekt, die Realisierung sowie die anschließende Nutzung maßgeblich entscheidend für einen erfolgreichen Radonschutz an Gebäuden.

### **3 Bauliche Maßnahmen**

#### **3.1 Radonschutz durch Abdichtungsmaßnahmen**

Um ein Gebäude vor dem Eindringen von Radon aus dem Erdreich zu schützen, gibt es die Möglichkeit die erdberührenden Teile des Gebäudes abzudichten. Dabei erfolgt die Abdichtung durch so genannte Dichtungsschichten, die das Gebäude wie in einem „Gefäß“ vom Erdreich abschirmen und verhindern, dass Radon in das Gebäude eindringen kann. Wie bereits erwähnt, kann das Edelgas als Bestandteil der Bodenluft konvektiv durch Öffnungen in den erdberührenden Bauteilen oder infolge von Diffusion aus Boden und Wänden in das Gebäude eindringen. Für den Radonschutz von Neu- bzw. Altbauten ist der konvektive Radontransport durch Leckagen von Bedeutung, da die Diffusion nur einen geringen Anteil an der Radonkonzentration in Gebäuden hat (max. einige zehn Bq/m<sup>3</sup>). Viele Firmen bieten Folien und Abdichtungsbahnen auf unterschiedlicher Materialbasis an, die als „radondicht“ deklariert werden. Wichtig für die Beurteilung der tatsächlichen Dichte ist die Halbwertszeit des Radons von 3,8 Tagen. Ist das Material dicht genug, sodass die durchschnittliche Diffusionszeit der Radonotope mehrere Halbwertszeiten beträgt, findet der radioaktive Zerfall bereits im Material statt. Die entstandenen Zerfallsprodukte sind nicht mehr gasförmig, bleiben im Material und sind somit unschädlich für den menschlichen Organismus. Wichtig ist, dass die verwendeten Abdichtungsmaterialien keine Risse oder Beschädigungen aufweisen, wodurch die Dichte gefährdet wäre. Beispiele für radondichte Materialien sind PEHD, Polymerbitumen oder Epoxidharz.

Die häufigste Ursache für hohe Radonkonzentrationen in Gebäuden sind Leckstellen in erdberührenden Bauteilen. Nach Aussagen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie nach Meinung des Bundesamtes für Strahlenschutz können Undichtigkeiten in Form von Rissen und Fugen in Böden und Wänden, in Durchführungen von Kabeln und Leitungen, in Form von Bodenschächten und Kontrollöffnungen, Kaminen sowie in Kellern mit Naturböden auftreten. In Neubauten als auch in bestehenden Gebäuden sind folgende Maßnahmen möglich: das Absperren des Erdreichs mit Dichtungsbahnen, Anstrichdichtungen an und in Bauteilen, das Abdichten von Fugen, Rissen, Löchern und Durchbrüchen sowie das Abdichten von jeglichen Öffnungen wie Türen, Fenstern usw.

#### **3.2 Radonschutz durch Lüftungstechnische Maßnahmen**

Neben den vorgestellten Möglichkeiten der Abdichtung, gibt es weitere Maßnahmen die Radonkonzentration in Gebäuden zu senken. Diese Maßnahmen resultieren aus einem natürlichen Druckgefälle, das unterschiedliche Ursachen haben kann. Naturgemäß besteht in jedem Gebäude ein temperaturbedingtes Druckgefälle, das über mehrere Etagen wirksam sein kann. Wenn die Luft sich im Gebäudeinneren erwärmt, beginnen die Luftmoleküle zu schwingen und die Dichte nimmt ab. Folglich ist die Luft leichter und steigt nach oben, so dass ein Luftloch mit niedrigem Luftdruck entsteht. Da Luftmassen mit hohem Luftdruck stets zu Luftmassen mit niedrigem Luftdruck strömen, entsteht im Inneren des Gebäudes ein Unterdruck, der wiederum Radon aus der Bodenluft in das

Gebäude zieht. Lift- und Lüftungsschächte können diesen Effekt noch zusätzlich verstärken. Unterdruckerhöhend wirken zudem technische Anlagen wie Abluftventilatoren für Badezimmer oder Küchen, Öfen und Kamine, soweit diese keine separate Luftzufuhr von außen aufweisen. Auch der Wind kann die Radonproblematik erheblich beeinflussen, wobei die Lage des Gebäudes und die Gebäudehüllendichtigkeit maßgebend sind. Unerheblich welcher Ursache, kann ein solcher Unterdruck bei einer Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft von 20 Grad Celsius mehrere Kubikmeter Luft pro Stunde durch einen Riss von einem Meter Länge und einem Millimeter Breite ziehen. Folgenden Lüftungstechnischen Maßnahmen können die Druckverhältnisse in einem Gebäude so beeinflussen, dass Radon nicht mehr in das Gebäude gesaugt bzw. auf ein akzeptables Maß verringert werden kann: Unterdruck erzeugende Faktoren eliminieren, einen Unterdruck unter dem Gebäude erzeugen, im Gebäude einen künstlichen Überdruck erzeugen sowie das Abführen radonhaltiger Luft aus dem Gebäude.

## 4 Zum internationalen Stand des Radonschutzes an Gebäuden

Nachdem in den letzten Jahrzehnten der Radonschutz aufgrund der gesundheitsgefährdenden Wirkung, fast nur bei Bergarbeitern eine Rolle spielte, gab es vor über 30 Jahren seitens nationaler und internationaler Strahlenschutzbehörden die ersten Untersuchungsprogramme zum Thema Radon in Gebäuden. Neben wissenschaftlicher Grundlagenforschung wurden Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft, Bodenluft und im Wasser durchgeführt. Als Ergebnis entstanden erste Übersichtsmessungen mit dem Ziel einer Interpretation der Daten, um Rückschlüsse über ein eventuelles Gefährdungspotential zu erhalten. Die Auswahl der Messorte erfolgte in den ersten Jahren eher zufällig und räumlich nicht gleich verteilt. Schnell wurde jedoch die Notwendigkeit systematischer Untersuchungen erkannt. International gab es Differenzierungen in der Auswahl der Schwerpunkte bei der Durchführung der Messkampagnen, aber mit dem gleichen Ziel, die Bevölkerung vor der Strahlenexposition bzw. der Inhalation von Radon und seinen Folgeprodukten zu schützen. Als möglicher Zugang dienten Messungen der Radonkonzentration in privaten und öffentlichen Gebäuden. Diese Strategie wurde beispielsweise in England oder in der Schweiz verfolgt. Eine andere Möglichkeit bildete die Untersuchung der Quelle des Radons, d.h. des geologischen Untergrundes. Die Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft etablierte sich z.B. in Ländern wie Deutschland oder der Tschechischen Republik. Die Ergebnisse der Messungen wurden in der Regel statistisch aufbereitet und kartographisch dargestellt. Die Kriterien einer solchen Radonkartierung variierten von Land zu Land deutlich, aber mit dem gleichen Ziel, einer Identifizierung von so genannten "Radongebieten" bzw. der Einstufung von Gebieten in Klassen unterschiedlichen Radonrisikos. Neben diesen, mehr oder weniger, flächendeckenden Messungen sind in einigen Ländern gezielte Fallstudien und exemplarische Untersuchungen zum Radonschutz bei Neubauten sowie zur Sanierung bereits bestehender Gebäude durchgeführt worden. Die Öffentlichkeitsarbeit der einzelnen Länder unterscheidet sich bis heute, jedoch konnte in vielen Fällen auf die Radonproblematik aufmerksam gemacht werden und die breite Bevölkerung sowie bestimmte Berufsgruppen wie Architekten oder Bauingenieure für dieses Thema sensibilisiert werden. In der Schweiz wurde in den letzten Jahren ein Radon-Sachverständigenwesen aufgebaut, das auch in Deutschland zunehmend an Bedeutung gewinnt. Parallel dazu wird Radon im Rahmen der Risikokommunikation, beispielsweise bei Bauvorhaben der öffentlichen Hand, zunehmend thematisiert. So werden Betroffene, d.h. Bewohner in Gebieten mit erhöhten Bodenluftkonzentrationen, über das höhere Risiko in Bezug auf die gesundheitsschädliche Wirkung des Edelgases aufgeklärt. Resultat der Untersuchungsprogramme waren zumeist gesetzliche Regelungen, so dass mittlerweile in zahlreichen Ländern Europas und außerhalb Europas Empfehlungswerte, Richt- oder Grenzwerte für die Radonkonzentration in Wohngebäuden oder an Arbeitsplätzen existieren, wenn auch in verschiedener Höhe. Gleichzeitig wurden z. T. Baubestimmungen erlassen, die - generell oder lokal begrenzt - präventive Schutzmaßnahmen für Neubauten vorschreiben. Die einzelnen Staaten orientieren sich bei der nationalen Gesetzgebung für Wohngebäude zum überwiegenden Teil an den Werten der EU-Empfehlung (1990). Grundsätzlich sind Richt- bzw. Grenzwerte für Neubauten niedriger oder höchstens genauso hoch wie diejenigen für bestehende Gebäude. Für Neubauten wird in der Regel ein Wert von  $200 \text{ Bq/m}^3$  angesetzt, für bereits bestehende Gebäude ein Wert zwischen 200 und  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Außerhalb dieser Spanne liegen

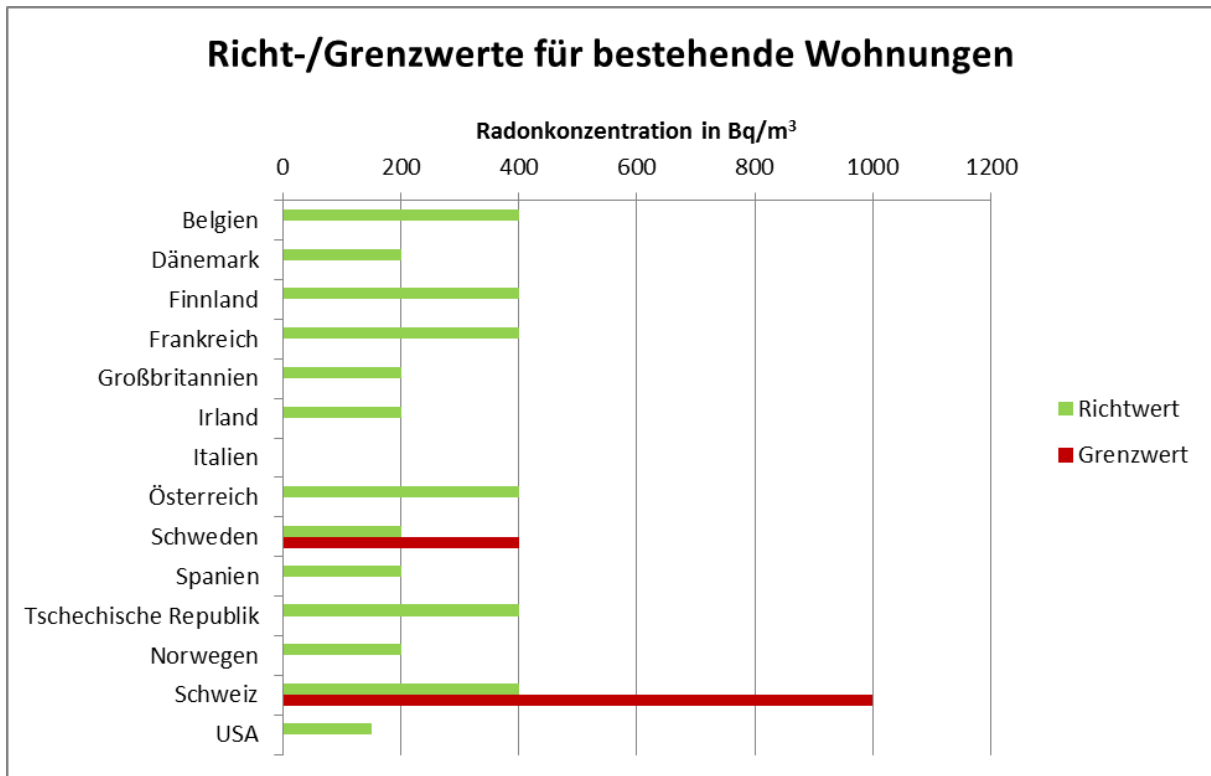
beispielsweise der Richtwert von  $150 \text{ Bq/m}^3$  für Neubauten und bestehende Gebäude in Luxemburg und den USA sowie der Grenzwert von  $1.000 \text{ Bq/m}^3$  für Wohn- und Aufenthaltsräume in der Schweiz (vgl. radon- info.de 2012).

Für den internationalen Vergleich von baulichen Maßnahmen zum Schutz vor Radon wurden im Rahmen dieser Fallstudie neben der Bundesrepublik Deutschland in Europa 14 Länder, darunter 11 EU- Mitgliedsländer und 3 Nicht EU- Mitgliedsländer untersucht. Für den globalen Vergleich wurde die USA betrachtet. Hierbei lassen sich mehrere Techniken zum Radonschutz an Gebäuden festhalten. In den untersuchten Ländern wurde mindestens eine der folgenden Techniken zur Reduzierung der Radonkonzentration in einem Gebäude verwendet. Diese lassen sich wiederum in Maßnahmen, die in einem Gebäude vorgenommen werden und Techniken, die unter einem Gebäude installiert werden differenzieren. Um die Radonkonzentration in einem Gebäude zu reduzieren wurden vermehrt Abdichtungstechniken, wie die Luftabdichtung zwischen Gebäude und Boden oder die Nutzungsänderung der Räumlichkeiten angewandt. Des Weiteren wurden Maßnahmen zum Absaugen der radonhaltigen Luft beispielsweise aus einem Zwischenboden oder Techniken zur Druckregulierung in einem Gebäude verwendet. Die häufigste Maßnahme, die Radonkonzentration unter einen kritischen Schwellenwert zu senken, stellen jedoch die verschiedenen Lüftungstechniken vom Querlüften des Kellergeschosses bis zu mechanischen Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung dar. Unter dem Gebäude wurde vermehrt auf den Einsatz von Lüftungstechniken bzw. das Absaugen der Bodenluft infolge einer Druckreduzierung gesetzt, welche mittels punktuellen oder flächigen Absaugsystemen messbare Erfolge erzielten.

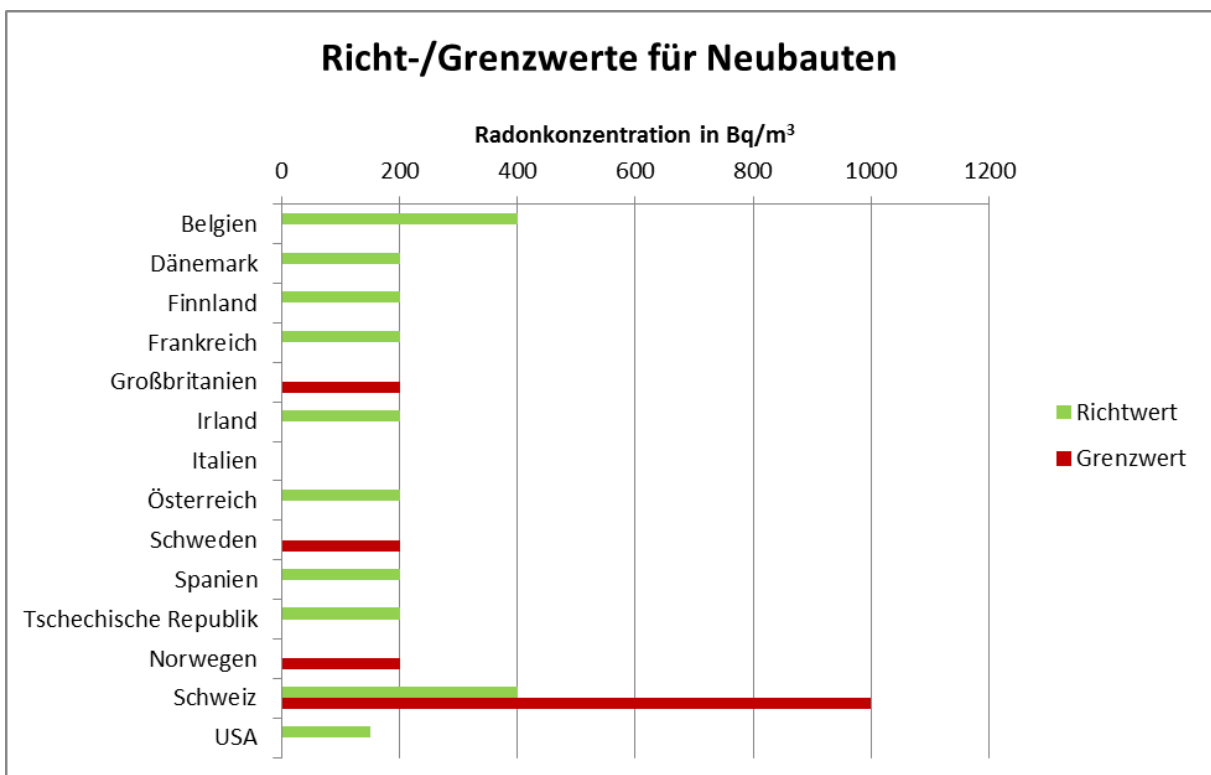
## 4.1 Auswertung

Um eine Einschätzung der Situation in Deutschland zu erhalten, wurde ein Vergleich mit anderen Ländern vorgenommen. Dieser Vergleich sollte einerseits die rechtliche Situation beleuchten, andererseits einen Einblick in die verwendete Methodik geben. Die aufgeführten Betrachtungen zeigen, dass die Radonproblematik global bekannt ist und besonders in Europa durch die Neufassung der EU Grundnorm in den politischen Blickpunkt wandert. Derzeit existieren umfangreiche Datenbestände zu Radonmessungen und immer mehr detaillierte Radonkarten werden veröffentlicht. Die Art der Radonkartierung ist dagegen sehr unterschiedlich. In wenigen Ländern wurde primär die Geologie als Grundlage verwendet, in vielen Ländern hingegen Innenraummessungen für die Einteilung von Radongefährdungsgebieten herangezogen. Auch Bodengasmessungen werden in manchen Ländern als Informationsquelle angesehen. Des Weiteren unterscheidet sich die Feinheit der Kartierungen. In manchen Ländern werden relativ große Bereiche kartiert und in anderen Ländern wird eine extrem genaue Kartierung angestrebt. Dies kann verschiedene Ursachen haben. So kann die Verantwortung bei regionalen Behörden liegen, die dem Radon wenig Beachtung schenken oder aufgrund von erhöhten Radonrisiken in gewissen Gebieten auf eine genaue Untersuchung Wert legen. Des Weiteren unterscheidet sich die rechtliche Situation in den verschiedenen Ländern. Nur wenige Länder haben gesetzlich festgelegt Grenzwerte (z.B. Schweden; GB; Schweiz) für Radoninnenraumkonzentrationen. Viele begnügen sich mit Richtwerten, bei deren Überschreitung Reduktionsmaßnahmen empfohlen werden. Zumeist wird zwischen Neubauten und bestehenden Gebäuden unterschieden. In den folgenden Abbildungen sind die Richt- und Grenzwerte für bestehende Wohnräume und Neubauten zusammengefasst (Stand 2011). Zur Vergleichbarkeit wurden alle nationalen Werte in  $\text{Bq/m}^3$  umgerechnet. Gestaffelte Richtwerte und nationale Besonderheiten wurden nicht aufgeführt. Wenn für bestimmte Länder keine Werte verzeichnet sind, liegen derzeit keine Richt- oder Grenzwerte vor.





**Abb. 1:** Richt- und gesetzlich festgelegt Grenzwerte für die Obergrenze der Radonkonzentration in bestehenden Gebäuden. Quelle: eigene Darstellung 2011



**Abb. 2:** Richt- und gesetzlich festgelegte Grenzwerte für die Obergrenze der Radonkonzentration in Neubauten. Quelle: Eigene Darstellung 2011

In Europa lassen sich signifikante Unterschiede im Umgang mit Radon und dessen gesundheitsschädigender Wirkung erkennen. Während Länder wie Großbritannien oder die Schweiz eine umfangreiche Informationspolitik betreiben, sind in osteuropäischen Ländern nur wenige Informationen zu angewandten Radonschutzmaßnahmen zu finden. Eine Ausnahme bildet die Tschechische Republik, in der die Radonproblematik einen festen Stellenwert in der Bevölkerung und Politik inne hat. Die mitteleuropäischen Länder sind durch eine enorme Datenvielfalt charakterisiert. Auch Großbritannien und Irland verfügen über umfangreiche Fallstudien zum Thema Radonschutz an Gebäuden. Zwischen EU und Nicht EU Mitgliedsländern konnte in Bezug auf die Informationspolitik kein Unterschied festgestellt werden. Ob die Informationsvielfalt der mittel- und westeuropäischen Länder auf eine bessere Informationspolitik oder auf die jeweilige finanzielle Situation zurückgeführt werden kann, ist nicht bekannt. Im globalen Kontext wurde die USA betrachtet, die unter Federführung der EPA eine landesweit intensive Informationspolitik verzeichnen kann. Im Gegensatz zur Bundesrepublik gibt es in den USA zahlreiche staatlich zertifizierte Bauunternehmen, so genannte „radon contractors“, die bauliche Maßnahmen zum Radonschutz an Gebäuden anbieten. Neben der unterschiedlichen Sensibilisierung der Bevölkerung wurden im internationalen Vergleich mehrere Gegensätze in Bezug auf die angewandten Maßnahmen zum Radonschutz an Gebäuden deutlich. Jedes Land bevorzugt bestimmte Methoden, beispielsweise Großbritannien den Radonbrunnen („sump system“) und deklariert bestimmte Verfahrensabläufe. Der Radonbrunnen zeigt hier Differenzierungen. In Finnland wird der Radonbrunnen bevorzugt neben dem Gebäude errichtet, in Irland oder Italien dagegen unter der Bodenplatte. Auch die Ableitung der radonhaltigen Luft wird in den untersuchten Ländern verschieden gehandhabt. So werden in Irland die ableitenden Rohrleitungen an der Außenwand des Gebäudes montiert, in Italien wegen Frostgefahr bevorzugt im Inneren des Hauses. Auch der entlüftete Bereich des Radonbrunnens variiert in den untersuchten Angaben. In Italien soll ein Radonbrunnen unter einem Gebäude eine Fläche von bis zu 200m<sup>2</sup> entlüften, in der Tschechischen Republik wird dagegen von einem Radius von maximal 6m gesprochen. Die verschiedenen Angaben resultieren aus der jeweiligen geologischen Situationen der Länder. Insgesamt wurde deutlich, dass zum jetzigen Zeitpunkt verschiedenste Verfahren und Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Gebäuden entwickelt und angewandt wurden. Jedes Land deklariert eine oder die Kombination mehrerer Techniken zum effektiven Schutz vor Radon und seinen Folgeprodukten. Die untersuchten Techniken variieren jedoch in ihrer Handhabung und Konstruktion. Hier ist ein verstärkter Austausch der vorhandenen Erfahrungen nötig, um bestehende Methoden zu verbessern.

## **5 Auswertung der Befragungen**

Im Rahmen der Auswertung der verschiedenen Maßnahmen zum Radonschutz an Gebäuden in Deutschland, wurden verschiedene Erfahrungsträger zu ihrer persönlichen Meinung in Bezug auf die Radonproblematik befragt. Interviewpartner waren u.a. Vertreter wissenschaftlicher Institutionen und Behörden, als auch Firmen, die Radonschutzmaßnahmen- und Messtechnik vertreiben. Neben Firmen im Freistaat Sachsen wurden Unternehmen in Brandenburg, Berlin, Nordrhein- Westfalen und Hamburg befragt. Die Fragen richteten sich u.a. nach den verschiedenen Techniken des Radonschutzes, entstehenden Kosten, gebotenen Qualitätssicherungsmaßnahmen und relevanten Baunormen im radonsicheren Bauen und Sanieren.

### **5.1 Ergebnisse**

Die Auswertung der Interviews macht deutlich, dass die Radonproblematik noch nicht vollständig in das Bewusstsein der betreffenden Institutionen gelangt ist. Viele Baufirmen und Unternehmen des Bausektors haben keine Erfahrungen mit dem Edelgas Radon. Hingegen versucht ein geringes Fachpublikum seit Jahren die Radonproblematik in ganz Deutschland publik zu machen. Es fiel auf, das besonders Unternehmen, die außerhalb eines durch Radon verstärkt betroffenen Gebietes

ansässig sind, keine bzw. unzureichende Erfahrungen und ein mangelndes Wissen aufweisen. Ein Brandenburger Bauunternehmen liefert ein Beispiel. Hier ist die Radonproblematik bekannt, jedoch ist aufgrund fehlender Fallbeispiele und direktem Kontakt eine unzureichende Praxiskenntnis erkennbar. Deutlich zeigte sich dies auch bei Firmen aus Hamburg oder Berlin, die radondichte Produkte vertreiben. Hier herrschte ein breites Wissen über das angebotene Produkt, ein umfassendes Fachwissen zu der gesundheitlichen Gefährdung bzw. zu konkreten anderen Schutzmaßnahmen fehlte jedoch. Mehrere der befragten Firmen, darunter eine in Hamburg ansässige Firma für Abdichtungen, deklarieren ihre geführten Produkte, ohne jedoch ein ausreichendes Wissen bezüglich der Radon- Gefährdung oder alternative Schutzmaßnahmen zu haben. Das Unternehmen gewährt sogar eine 30 Jährige Garantie mit jährlichen Qualitätsuntersuchungen ohne direkte Radonmessungen anzubieten. Des Weiteren konnten viele Unternehmen keine Angaben zu der Notwendigkeit von Radonschutzrechtlichen Regelungen machen. Trotz Vertrieb radondichter Produkte fehlte hier das nötige Wissen. Aufgabe der Länder sollte sein, den Blickpunkt auf die Öffentlichkeitsarbeit zu legen, um bestehende Informationslücken in der Bevölkerung zu schließen. In Fachkreisen bot sich hingegen ein anderes Bild. Das in Sachsen befragte Fachpublikum beschäftigt sich seit Jahren sowohl im privatwirtschaftlichen als auch im wissenschaftlichen Bereich mit möglichen Schutzmaßnahmen gegen Radon. Grund liefert die unmittelbare Nähe zu Gebieten mit hohen Radonkonzentrationen. Jedoch lassen sich auch hier Gegensätze ausmachen. Während die meisten der befragten Fachleute sich für eine hohe Bauqualität, Bitumenschweißbahnen oder dichte Bodenplatten als Radonschutz aussprechen, gehen die Meinungen bezüglich des Einflusses bestehender Baunormen auseinander. Ein Beispiel bildet die DIN Norm 18195 zu Bauwerksabdichtungen. Nach Meinung eines befragten Ingenieurs gestaltet sich die Realisierung von Radonschutzmaßnahmen unter Beachtung der DIN 18195 problematisch, da in den Normen keinerlei Hinweise zu Radon vermerkt seien. Ein Vertreter einer sächsischen Behörde ist hingegen der Meinung, dass die DIN 18195 in normativer Weise bereits wesentliche Aspekte einer radongeschützten Bauweise beinhaltet. Hier ist wichtig zu erwähnen, dass es zum jetzigen Zeitpunkt keine Zusammenstellung bestehender Baunormen gibt, die auch relevant für den Radonschutz an Gebäuden sind. In den geführten Interviews wurden folgende Baunormen genannt, die bei einer Radonsanierung bzw. bei dem Bau eines radonsicheren Hauses beachtet werden sollten:

- DIN 18195 zu Bauwerksabdichtungen bzw. den Schutz von Bauwerken gegen Feuchtigkeit
- das WTA Merkblatt „nachträgliche Bauwerksabdichtungen erdberührender Bauteile“
- EN DIN 4108-10 zur Luftdichtigkeit eines Gebäudes
- DIN 1946-6 zu Lüftungsanlagen.

Weiteres Diskussionsmaterial lieferten die vorgestellten Schutz- sowie Messverfahren. Einig ist sich der Fachkreis dagegen bei den Einwirkungen der EnEV auf eine steigende Radonkonzentration in Wohnräumen. Hier sollten die Verantwortlichen in Politik, Verwaltung und im Bildungsbereich vermehrte Aufklärungsarbeit leisten und energetische Sanierungsarbeiten nur in Kombinationen mit beispielsweise Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung fördern. Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte festhalten:

- mangelnde Praxiskenntnis im Bausektor
- mangelndes Wissen über gesundheitliche Schädigungen
- die Bauqualität sollte kontrolliert werden (vor, während und nach dem Bau)
- Gebäude sollten über dichte Bodenplatten verfügen
- Bitumenschweißbahnen zum Feuchteschutz bieten in der Regel einen ausreichenden Radonschutz
- in bestehenden DIN Normen sollte Radon inbegriffen sein
- es fehlt eine einheitliche Sammlung bestehender Radon- relevanter Baunormen
- energetische Sanierungen unter Berücksichtigung des Radonschutzes
- verstärkte Öffentlichkeitsarbeit, Förderprogramme

## 6 Fazit und Ausblick

Radon ist ein natürlich vorkommendes, radioaktives Gas, das beim Zerfall von Uran- 238 in Gestein und Boden entsteht. Mit unseren Sinnen ist es nicht wahrnehmbar. Durch undichte Stellen in der Gebäudehülle kann Radon unbemerkt in Wohnräume vordringen und sich in der Raumluft ansammeln. Personen, die langfristig einer hohen Radonkonzentration ausgesetzt sind, haben ein erhöhtes Risiko an Lungenkrebs zu erkranken. Das Risiko nimmt linear zur Radonkonzentration zu. Neue Studien ergeben zudem, dass das Risiko für Lungenkrebs in Zusammenhang mit der Radonexposition in Wohnräumen höher ist, als es die Extrapolationen bestehender epidemiologischer Studien vorgeben. In Anbetracht des neuen Kenntnisstands veröffentlichte die WHO aktualisierte Empfehlungen und legte einen maximalen Wert von  $300 \text{ Bq/m}^3$  fest. Entsprechend sollten bestehende Richtwerte geprüft und eventuelle Grenzwerte erlassen werden. Wie die WHO empfiehlt auch die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) und ebenso die Europäische Union in ihrem Schlussprojekt der Basic Safety Standards (BSS) einen Referenzwert von  $300 \text{ Bq/m}^3$ . In diesem Zusammenhang sollte Radon als öffentliches Gesundheitsproblem angesehen werden. Da diese Situation weitreichende Konsequenzen bedingt, sollten meiner Meinung nach verstärkte Maßnahmen zum Radonschutz getroffen werden. Zum einen sollten gesetzliche Bestimmungen und Regelungen nach Empfehlungen der WHO, ICRP und EU erlassen und zum anderen die Kenntnisse zur Radonexposition in Wohnräumen erweitert werden. Durch den Einbezug der Radonproblematik in die Ausbildung von Baufachleuten, müsste die Politik gezielt den Radonschutz im Bausektor fördern und bei der Erarbeitung von Energiesanierungsstrategien berücksichtigen. Die Ergebnisse von internationalen Pilotsanierungen sollten systematisch analysiert und die effizientesten Methoden identifiziert werden. Dazu sind entsprechende Mittel im Bereich Architektur und Bau erforderlich. Diese Mittel könnten durch einen Ausbau der bestehenden Zusammenarbeit mit den Fachinstituten der Hochschulen bereitgestellt werden. Die Ergebnisse der Sanierungen könnten in einer Radon-Datenbank dokumentiert und registriert werden, wie sie in ähnlicher Weise von der Schweiz angeboten wird. Auf diese Weise können neue Techniken zusammengetragen und bestimmt werden, welche Maßnahmen das beste Kosten- Nutzen- Verhältnis aufweisen. Ziel wäre es eine effiziente und bewährte Strategie zur Verfügung zu haben, wenn das zu erwartende Radonschutzgesetz in Kraft tritt.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Umweltpolitik. Radon. Merkblätter zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnhäusern
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Bundesamt für Strahlenschutz (2001): Radon- Handbuch Deutschland. Aktualisierung 2010. Braunschweig
- [3] Europäische Atomgemeinschaft (2011): Vorschlag für Richtlinie des Rates zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung. Deutsche Übersetzung. Brüssel
- [4] Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (2010): Radon in Wohnhäusern. München
- [5] Radon-info.de (2012): Die Informationsseite zum Thema Radon und Radioaktivität. URL: [http://www.radon-info.de/shtml/rn\\_bau.shtml](http://www.radon-info.de/shtml/rn_bau.shtml) (Stand 20.07.2012)
- [6] World Health Organization (2009): WHO handbook on indoor radon. A public health perspective. WHO Press. Geneva

## **FÖRDERPRAXIS ENERGIEEFFIZIENTES BAUEN IN SACHSEN UNTERSTÜTZT RADONSCHUTZ**

### **PRACTICE OF SUBSIDIES FOR ENERGY EFFICIENT BUILDING IN SAXONY SUPPORTS RADON PROTECTION**

Freia Frankenstein-Krug

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, Dresden

#### **Zusammenfassung**

*Energetisches Bauen und Sanieren und Radonschutz stellen keinen Gegensatz dar. Das Energiesparen führte zu immer dichteren, gut gedämmten Gebäuden. Die Erkenntnis, dass nur noch durch die Vermeidung der Lüftungswärmeverluste bessere Effizienzwerte zu erreichen waren, bewog die Vorreiter der Niedrigenergie- und Passivhausbauweise schon vor 20 Jahren die mechanische Lüftungsanlage mit effektiver Wärmerückgewinnung in das Gebäudekonzept zu integrieren. Die Förderpraxis in Sachsen berücksichtigt bereits seit 10 Jahren diese Erkenntnisse zunächst in Modell- und Demonstrationsvorhaben, seit 3 Jahren auch in der Regelförderung.*

#### **Summary**

*Energetic construction and radon protection are no contrast. Energy saving has led to increase better insulated buildings and more tight envelopes. The engineers of low energy buildings and passive houses already recognized 20 years ago the efficiency potential of mechanical ventilation systems with heat recovery. Only such systems help to make the buildings more efficient than thicker insulation and avoid Ventilation heat losses. Practice of subsidies for energy efficient building in Saxony considers these facts since 10 years in pilot and demonstration projects and since 3 years in usual funding.*

# 1 Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und energieeffizientes Bauen

Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes setzt sich aus Transmission durch Bauteile der thermischen Hülle und dem Lüftungswärmeverlust zusammen. Betrachtet man die Entwicklung des Heizwärmebedarfs von Wohngebäuden, dann stellt man fest, dass die Senkung des Wärmebedarfs wesentlich durch eine Verringerung des Transmissionswärmeverlustes erreicht wurde, dadurch ist der prozentuale Anteil der Lüftungswärmeverluste am Wärmebedarf kontinuierlich gestiegen und erreicht heute bis zu 50% des gesamten Heizwärmebedarfs.

Aus hygienischen Gründen und zur Vermeidung von Bauschäden ist in einem Wohnhaus ein Mindestluftwechsel von 0,3 bis 0,4 pro Stunde bzw. eine Mindestluftmenge von 30 m<sup>3</sup> pro Stunde und Person zu gewährleisten, der durch Verdünnungseffekt die Schadstoff- und Feuchtigkeitsbelastung reduziert. Die wichtigsten Belastungen in Wohnräumen sind Kohlendioxid aus der verbrauchten Atemluft, Feuchte, Geruchsbelästigungen und Schadstoffe aus Einrichtungen, aber auch natürliche Belastungen wie Radongas bzw. dessen Zerfallsprodukte aus dem Boden.

Überschreitet die Feuchte im Raum eine temperaturabhängige Maximalgrenze, so kann es durch Kondensation an kalten Bauteilen zu Schimmelbildung kommen. Wurde dieser Luftwechsel bei älteren bestehenden Gebäuden noch durch bestehende Undichtigkeiten speziell der Fensterfugen größtenteils abgedeckt, muss bei Neubauten manuell oder mechanisch zwangsgelüftet werden. Bei manueller Lüftung erfolgt der Luftwechsel der Räume über geöffnete Fenster, mit der Konsequenz, dass die kostenintensiv aufgeheizte Raumluft an die Umwelt abgegeben wird. Die Lüftungszeiten werden oft subjektiv gewählt, der reale Luftwechsel ist nicht kontrollierbar. Durch Über- oder Unterschreitung der Mindestluftwechsel entstehen hohe Energieverluste bzw. die Gefahr von Gesundheitsbelastung und Bauwerksschäden. Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung stellen eine komfortable energieeffiziente Möglichkeit der Lüftung in Wohngebäuden dar. Für Erreichung der niedrigen Verbrauchswerte im Niedrigenergie- bzw. Passivhaus ist diese Anlagentechnik unverzichtbar.

## 1.1 Lüftungssysteme für den Wohnhausbereich

Prinzipiell werden bei der mechanischen Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung Zentral- und Einzellüftungsanlagen unterschieden. Während bei Zentrallüftungsanlagen eine Anlage über ein Kanalverteilsystem alle Räume lüftungstechnisch anbindet, wird bei Einzellüftungsanlagen für jeden Raum ein gesondertes Lüftungssystem für vorgesehen.

### Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät und Wärmerückgewinnung

- Luftkanalsystem mit raumspezifischer Anbindung Zuluft (weniger belastete Räume wie Wohn- und Schlafbereich) und Abluft (Küche, Sanitärräume)
- Überströmung zwischen Zu- und Abluftbereich
- zentrale mehrstufige angepasste programmierbare Regelung
- keine Geräuschbelastung der Räume
- zentrale Wärmerückgewinnung mit Ausgleich der Raumbilanzen
- Kombination mit Erdwärmetauscher und Wärmepumpen möglich



**Abb. 1** Zentrales Luftgerät mit Wärmerückgewinnung

### Einzelraumlüftung mit Außenwandgeräten

- Einzelraumlüftungsgeräte für jeden Raum
- geringer Installationsaufwand (durch Entfall Kanalinstallation auch im Sanierungsbereich einsetzbar)
- schlechtere wirtschaftliche Bilanz durch höheren gerätetechnischen Aufwand
- geringerer Wärmerückgewinnungsgrad der Einzelanlagen

Für beide Varianten gilt, dass sie die Technik wartungsarm ist. Die Pflege beschränkt sich auf den regelmäßigen Filterwechsel bzw. die Filterreinigung und je nach Anlagentyp einer Reinigung des Wärmetauschers der Wärmerückgewinnung. von je 25 mm Links und Rechts.

## 1.2 Förderpraxis in Sachsen

Um die Passivhausbauweise noch bekannter zu machen und mehr Bauherren als bisher von diesem energetisch optimierten Standard zu überzeugen, hat das Sächsische Umweltministerium Ende 2002 das Pilotprojekt „Innovations- und Praxisverbund Passivhäuser“ gestartet.

Zu Beginn erfolgte die Förderung des Neubaus von Passivhäusern. Seit dem Jahr 2005 wurde die Förderung um die Sanierung mit Passivhauselementen erweitert. In dieser ersten Phase wurden mehr als 30 Projekte in Sachsen gefördert.

Die einzelnen Projekte des Verbundvorhabens zeigen die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten der Passivhausbauweise: Neubau und Altbau, Massiv- und Holzhaus, Ein- und Mehrfamilienhaus sowie Kindertagesstätten und Schulen. Für den Bau eines Passivhauses in Sachsen gibt es inzwischen viele Spezialisten und auch typisch sächsische Erfindungen. Die Sächsische Energieagentur baute nach der 14. Internationalen Passivhaustagung 2010 in Dresden im Internet eine Datenbank „Sächsisches Unternehmensnetzwerk Passivhaus“ auf, wo Bauherren Partner finden und Firmen Ihre Spezialkenntnis bekannt geben können.

Noch während der Bauphase von Passivhäusern führte zunächst das Umweltministerium und seit 2007 die SAENA Vor-Ort-Besichtigungen für Baufachleute und interessierte Bauherren durch. Diese

Veranstaltungen gibt es noch zum Tag des Passivhauses jährlich Anfang November. Zusammen mit den sächsischen Kammern wurden und werden Fortbildungen und weiterführende Informationen angeboten.

Seit 2009 kann über das EFRE-Förderprogramm nach der Richtlinie „Energie- und Klimaschutz“ die Regelförderung für Passivhäuser, Sanierungen mit Passivhauskomponenten und den Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung angeboten werden. Die von den Ministerien für Umwelt und Landwirtschaft bzw. Wirtschaft und Arbeit kofinanzierten Zuschüsse werden über die Sächsische Aufbaubank – Förderbank ausgegeben.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, als Energieeffizienzmaßnahme mit Nebeneffekten in der Schadstoffabfuhr sind auch in den Wohnungsbauprogrammen des Sächsischen Innenministeriums „Innerstädtisch Wohnen“ bzw. „Energetische Sanierung“ förderfähig. Diese Darlehensprogramme werden ebenfalls durch die Sächsische Aufbaubank – Förderbank ausgegeben.

Weitere Fördermöglichkeiten vom Bund bietet die KfW in ihren Programmen zur energetischen Sanierung (Programmnummer 151, 152 oder 430) bzw. den Energieeffizienten Neubau (Programmnummer 153) sowie die Programme für Kommunen (Programmnummer 218) oder soziale Träger (Programmnummer 157) an.

### 1.3 Beispiele

Nachfolgend finden Sie ausgewählte Beispiele für Passivhäuser bzw. Sanierungen mit Passivhauskomponenten aus dem „Innovations- und Praxisverbund Passivhäuser in Sachsen“.

#### Einfamilienhaus Grimma OT Schkortitz

Mischbauweise: KS-MW mit WDVS + Holzbauweise

kontrollierte Wohnraumlüftung mit Erdwärmetauscher

wassergeführter Kaminofen; Solarth. und PV-Anlage mit 5,76kWp



Quelle: SMUL

Heizwärmebedarf	15 kWh/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf	56 kWh/m <sup>2</sup> a
Luftdichtheit	0,59 h <sup>-1</sup>
Energiebezugsfläche	210 m <sup>2</sup>



## Sanierung Einzeldenkmal in Poberschau zum energieeffizienten Wohn- und Bürogebäude

Haus in Haus – Konstruktion, dämmende Innenschale



Straßenseite, Süd-West



Heizwärmebedarf: 32 kWh/m<sup>2</sup>a

A<sub>EB</sub> = 254 m<sup>2</sup>

## MFH Dresden-Neustadt, Böhmisches Straße 33-35

Neubau Vorder- und Hinterhaus, insgesamt 14 Wohnungen

KS-MW mit WDVS (16 cm WLG 035); Fernwärme; solarth. Anlage

Projekt einer Baugemeinschaft aus 13 Eigentümern, meist Familien



Quelle: Baugemeinschaft b33

Heizwärmebedarf	15 kWh/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf	86 kWh/m <sup>2</sup> a
Luftdichtheit	0,48 h <sup>-1</sup>
Energiebezugsfläche 1	770 m <sup>2</sup>
Energiebezugsfläche 2	915 m <sup>2</sup>

## Sportkaufhaus TIMM Bautzen

Kalksandstein mit WDVS (WLG 035 22cm)

Zellulosedämmung im Dachbereich

Wasser-Wasser WP, Betonkernaktivierung

19kWp PV-Anlage



Heizwärmebedarf	6 kWh/m <sup>2</sup> a
Primärenergiebedarf	34 kWh/m <sup>2</sup> a
Luftdichtheit	0,12 h <sup>-1</sup>
Energiebezugsfläche	1.814 m <sup>2</sup>

## Passivhaus-Sporthalle Weixdorf

### → Konstruktion: Massivbauweise

- Energiekennwert: 13 kWh/m<sup>2</sup>a
- Primärenergiebedarf: 78 kWh/m<sup>2</sup>a
- Baujahr: 2008/09
- Nutzfläche: 1.494 m<sup>2</sup>

### Versorgungstechnik

Absorptionswärmepumpe,  
thermische Solaranlage,  
photovoltaische Anlage mit 30 kWp  
Lüftungsanlage mit einer  
Gesamtleistung von 4.000 m<sup>3</sup>/h  
WRG 93 %



## Sanierung Waldschule Grimma

### Baujahr 2006/2007

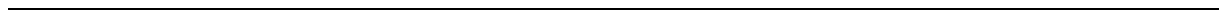
#### → Sanierung Faktor 10

- Erreichter Standard 13 kWh /m<sup>2</sup>a Heizwärmebedarf

#### → Technische Angaben

- Zentrale Be- und Entlüftung
- Fernwärmeanschluss
- Solare Brauchwasserunterstützung





## KURZER ERFAHRUNGSBERICHT ÜBER DEN EINSATZ VON RADONSAUGERN IN SCHWEDEN

### SHORT FIELD REPORT ON APPLICATIONS OF RADON SUCKERS IN SWEDEN

Richard Zinken<sup>1)</sup>

Gerhard Binker<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Corroventa Entfeuchtung GmbH, Meerbusch

<sup>2)</sup> Binker Materialschutz GmbH, Lauf a. d. Pegnitz

#### **Zusammenfassung**

*Das schwedische Unternehmen Corroventa Avfuktning AB entwickelt und produziert seit 30 Jahren technische Lösungen für die Wasserschadenbeseitigung. Aus den in dieser Branche etablierten Verdichtern entstand, nicht zuletzt aufgrund der sehr frühen gesetzlichen Regelungen zum Radonschutz in Schweden bereits 2001 die Radon-Saugtechnik gegen Radon aus der Bodenluft und aus dem Trinkwasser. Über 5000 erfolgreich installierte Anlagen in Schweden, die ausnahmslos die Radonkonzentration in den Gebäuden auf deutlich unter 200 Bq/m<sup>3</sup> abgesenkt haben, belegen den sicheren Sanierungserfolg bei Einsatz dieser Technik. Beispielhaft wird hier über das „Linköping-Projekt“ berichtet, bei dem in einer Kleinstadt systematisch über 1700 Radon-Installationen realisiert wurden.*

*Gemeinsam mit dazu qualifizierten Unternehmen, z.B. der Binker Materialschutz GmbH, werden die in Schweden gesammelten Erfahrungen nun in ersten Projekten in Deutschland, Österreich, Italien, Liechtenstein und der Schweiz angewendet. Alle Meßwerte und Gebäudeparameter vor und nach der Installation werden dokumentiert und die installierten Anlagen dauerhaft gewartet.*

*Im Vergleich zu den meist aufwändigen Bauwerksabdichtungen wird eine deutlich preisgünstigere und zugleich dauerhaft sichere Lösung erreicht, die insbesondere nachträglich (also im Altbau) installiert werden kann.*

#### **Summary**

*The Swedish Company Corroventa Avfuktning AB develops and produces technical solutions for the Water-Damage-Restoration for more than 30 Years. Based on the knowledge about the turbine-technology used in this field and driven by the early started government regulation about Radon limits in Sweden, Corroventa started to install the first Radon suckers in 2001. More than 5,000 installations in Sweden were installed, realised and documented. Each system was reducing the Radon levels far beyond the 200 Bq/m<sup>3</sup> limitation, showing the success of the Corroventa technology. In this report we show the “Linköping-Project” with more than 1,700 Radon-installations in a small town in Sweden.*

*Together with qualified field-partners, as Binker Materialschutz GmbH, the Swedish experience and know-how about this technology is transferred actually to first projects in Germany, Austria, Italy, Liechtenstein and Switzerland. All Radon measurements and building parameters are accurately documented as in Sweden and the installations will be maintained annually.*

*Radon suction is mostly much cheaper than common time- and money-consuming floor and wall sealing. It is a stable and enduring solution with low running expenses.*

# 1 Allgemeines zum Radonschutz in Schweden

## 1.1 Bewertung der geologischen Gegebenheiten

Eine große natürliche Strahlenexposition besteht auch in Schweden in der Inhalation des gasförmigen natürlichen Radons, welches sich aus Uran und Thorium-reichen Gesteinen durch radioaktiven Zerfall bildet. Es entsteht z.B. aus saurem Tiefengestein (z.B. Granit) oder aus der Kohle und aus Sedimentgestein. 90% des schwedischen Baugrundes befinden sich in "Radongebieten". Dazu exhaliieren viele Baumaterialien in Gebäuden Radon, insbesondere der "Blue Autoclaved Lightweight Concrete" aus den Jahren 1920-1975 mit hohem Radium-Anteil oder aber auch "Red Brick" (Roter Ziegelstein). Eine weitere Radonquelle ist auch Radon-belastetes Leitungswasser, insbesondere aus Tiefbrunnen zur Wohnraumversorgung. Das Radon aus den Bodenschichten gelangt durch Leckagewege in die Keller und von dort in die Wohn- und Aufenthaltsräume. In Schweden werden bereits seit den 1980er Jahren Messungen in Wohngebäuden, Schulen und Kindergärten durchgeführt. Bei den bisher in über 400.000 Häusern durchgeführten Radonmessungen lag der Mittelwert in freistehenden Einfamilienhäusern bei  $140 \text{ Bq/m}^3$ , in Mehrfamilienhäusern bei  $75 \text{ Bq/m}^3$ . Die höchsten Radonkonzentrationen wurden in Häusern gemessen, die in den schwedischen Gletscherlandschaften sowie auf granitreichen Felsen stehen. Man schätzt, dass über 150.000 Häuser Radonkonzentrationen von über  $400 \text{ Bq/m}^3$  und ca. 500.000 Häuser Werte mit über  $200 \text{ Bq/m}^3$  (Richtwert) aufweisen. Inzwischen hat man in über 30.000 Gebäuden mit Konzentrationen über  $400 \text{ Bq/m}^3$  Sanierungen durchgeführt. Weiterhin will die Regierung erreichen, dass die mittlere Radonkonzentration in Wohnräumen langfristig auf unter  $50 \text{ Bq/m}^3$  abgesenkt wird [1]. Anhand eines für die Stadt Linköping in Schweden durchgeführten Sanierungsprogramms, bei dem bisher über 10.000 Radon-Innenraummessungen durchgeführt und über 1.700 Radon-Absauganlagen in 1.000 Gebäuden eingebaut wurden, wird die praktische Umsetzung von Radonsanierungen in Bestandsgebäuden nachfolgend beschrieben. Alle Untersuchungen wurden durch eine örtliche Hochschule begleitet und die Ergebnisse ausführlich dokumentiert.

## 1.2 Radon-Messung: Definition der Messbedingungen

Die Radon-Konzentrationen schwanken in Gebäuden sehr stark, je nach z.B. Jahres- und Tageszeit. Die Messungen wurden direkt in den Gebäuden durchgeführt. Die bevorzugte Jahreszeit der Messungen war die Heizperiode (überwiegend Übergangszeit/Winterszeit), also Zeitraum Anfang Oktober bis Ende April. Die Tages-Durchschnittstemperatur sollte dabei möglichst außen  $<+10^\circ\text{C}$  sein. Für das Aufstellen der Radon-Messgeräte sollten möglichst folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Postierung der Messgeräte mindestens in einem repräsentativem Bereich, wie "Wohn- und Aufenthaltsbereich"
- wenigstens in Räumen, die täglich benutzt werden
- bei einstöckigen Häusern: wenigstens in zwei frequentierten Räumen, z.B. Wohn- und Schlafzimmer
- bei mehrstöckigen Wohnhäuser: wenigstens 1 Messstelle pro Stockwerk (sofern wohnlich genutzt)
- falls der Keller wohnlich genutzt wird: mindestens in zwei frequentierten Räumen, z.B. Wohn- und Schlafzimmer
- möglichst keine Berührung/Bewegung der Messgeräte während der Messphasen, insbesondere nicht von Raum zu Raum

- Mindestabstand von Wänden (ca. 50 cm), Postierung nur an Stellen mit wenig Luftbewegung (nicht in der Nähe von Ventilatoren, Dunstabzugshauben etc.)
- möglichst keine Temperaturquellen in unmittelbarer Nähe der Messgeräte

Die eingesetzten Messgeräte waren Passivsammler, wie Kernspurdosimeter und Elektret-Ionenkammern, wie E-PERM, sowie Aktivsammler als direktanzeigende Messgeräte, wie Atmos 12, RAD7, Scout Plus und PDS 100 G.

### 1.3 Einfluss-Faktoren für die Radon-Konzentrationen in den Gebäuden

Folgende Einfluss-Faktoren für die Radon-Konzentrationen in den Gebäuden werden in Schweden als besonders relevant angesehen:

Fluktuationen der Belüftung: Sie entstehen durch die Gewohnheiten der Bewohner durch z.B. Öffnen von Türen, Fenstern, Tätigkeiten

Gebäudearchitektur, wie offene oder geschlossene Architektur/ Bauweise

Einfluss durch Wind: Der Wind beeinflusst die Druckdifferenz zwischen Gebäude und Umgebung durch Windstärke, Windrichtung, Gebäudedichtigkeit. Vor allem bei nicht renovierten Gebäuden, und Nicht-Passivhäusern ist der Windeinfluß durch höhere Undichtigkeiten an besonders Fenstern hoch.

Temperatur-Differenz: Die Temperaturdifferenzen zwischen den ziemlich konstanten Innenraumtemperaturen und relativ stark schwankenden Aussentemperaturen sind große Einflußfaktoren

Dunstabzüge in Küchen und Bädern: Sie ändern deutlich die Luftwechselrate

Offene Kamine: Die Kaminsogeffekte sind ein die Gebäude-Luftwechselrate stark beeinflussender Faktor

Lage des Gebäudes: Die Lage des Gebäudes, ob windexponiert oder windgeschützt beeinflusst die Radon-Konzentration im Gebäude nennenswert. Auch konvektive Faktoren im Boden und die Porosität des Untergrundes sind zu beachtende Einflussfaktoren

Diese Faktoren bestimmen, auch unter Berücksichtigung des finanziellen Budgets, welche Maßnahmen gegen Radon ergriffen werden können.

### 1.4 Prinzipielle Maßnahmen gegen Radon in Gebäuden in Schweden

In Schweden versucht man die Radonbelastung in Gebäuden stets zu minimieren.

Liegt eine Radonbelastung aus Wasser vor, findet eine Belüftung des Wassers vor Eintritt ins jeweilige Gebäude statt. Bei Radonexhalation aus Baumaterialien wird eine verstärkte Belüftung (auf Kosten von Wärmeverlusten) herbeigeführt und es findet bevorzugt eine Belüftung der exhalierten Oberflächen (z.B. mittels Bodenkonvektoren) statt. Als optimal wird der Ausbau Radium-haltiger Baumaterialien angesehen; dies scheitert jedoch meist aus finanziellen Gründen, da es meist sehr aufwändig ist und einem Umbau gleichkommt.

Kommt das Radon aus dem Untergrund, also aus den Böden, dann versucht man die Eintrittspfade des Radons zu kappen. So werden Ritzen, Spalten, Risse in den Bodenplatten, Kellerböden und erdberührten Wänden möglichst durch Abdichtung oder Versiegelung bevorzugt dauerhaft geschlossen. Leitungsdurchführungen für die Infrastruktur werden ebenfalls gasdicht versiegelt. Generell wird versucht, eine Verdünnung einströmender radonbelasteter "Bodenluft" herbeizuführen. Als äußerst wirkungsvoll hat sich in Schweden gleichfalls wie in anderen Ländern eine Änderung der Druckverhältnisse zwischen „Innen und Außen“ erwiesen, um dem Radoneintritt in Gebäude

entgegenzuwirken [2]. Besonders günstig hat sich eine Änderung der Druckverhältnisse zwischen Wohnraum und Bodenluft unter der Bodenplatte herauskristallisiert. Die Radon-haltige Luft wird dadurch gehindert, über den Keller durch Druckdifferenzen und Kamineffekte oder durch Belüftungsvorgänge durch übliche Nutzung in die Wohnräume einzudringen. Eine typische technische Lösung zum Radonschutz ist deshalb der Einbau eines Radon-Extraktionssystems (=Radonsauger). Sie ist häufig die effektivste und kostengünstigste Lösung des Radon-Problems. Es wird sehr aufmerksam darauf geachtet, dass der häufigste gemachte Fehler bei der „Radonsanierung“ vermieden wird: Die Intensivierung der Kellerbelüftung durch z.B. Einbau von mechanischen Belüftungssystemen, wie Ventilatoren. Denn der dadurch erzeugte niedrigere Druck im Gebäude führt zu noch höherem Nachströmen Radon-haltiger Luft aus dem Keller.

## 2 Die Corroventa<sup>®</sup> Radon-Saugtechnik

Die technische Grundlage für die Corroventa-Radon-Saugtechnik bilden die vielen Erfahrungen auf dem Gebiet der Gebäudetrocknung und Kriechkeller-Belüftung.

### 2.1 Bauformen der Corroventa<sup>®</sup> Radon-Saugtechnik

Die erfahrungsgemäß beste technische und kostengünstigste Lösung zum Radonschutz ist wie bereits erwähnt der Einbau eines Radon-Extraktionssystems (=Radonsauger) zur Erzeugung eines niedrigeren Drucks unter der Bodenplatte im Vergleich zum Druck im Keller/Gebäude. Hierzu stehen zwei Systeme zur Auswahl, um die Bodenluft unter der Bodenplatte abzusaugen: RS 400 und RS 100 (siehe Abb.1). RS steht hier für „Radonsauger“. Es handelt sich um zwei verschiedene ca. 20 kg-schwere Absaugsysteme mit unterschiedlichen Eigenschaften.



**Abb. 1** Installationsbeispiel für einen RS 100-Radonsauger von Corroventa<sup>®</sup>

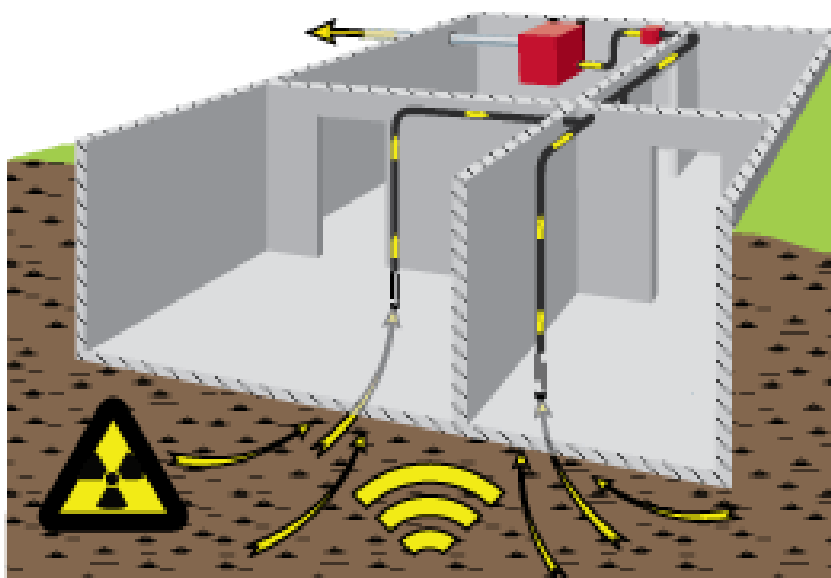


Der RS 100 ist beim Vorliegen von kompakten Untergründen und Böden ideal. Er kommt zum Einsatz, wenn lange Absaugleitungen erforderlich sind und weist deshalb eine hohe Pressung von 20000 Pa auf. Der maximale Volumenstrom liegt bei ca.  $80\text{m}^3/\text{h}$ , seine Leistung bei ca. 200-250Watt und die maximale Lautstärke bei nur 45 dB(A) bei voller Last.

Dem gegenüber ist der RS 400 noch energieeffizienter und kommt bei porösen Untergründen und Böden zum Einsatz. Seine Pressung liegt deshalb nur bei ca. 500 Pa mit einem Volumenstrom in einem weiten Bereich von ca.  $50\text{-}370\text{ m}^3/\text{h}$ . Seine Leistung kann mit ca. 10-25 Watt und einer sehr geringen Lautstärke von 30 dB(A) bei Volllast angegeben werden.

## 2.2 Anwendungsbeispiel

An einem Beispiel soll der Einsatz und die Installation des RS400 aufgezeigt werden. Bei dem Gebäude handelt es sich um ein gewöhnliches schwedisches privates Wohnhaus mit Bodenplatte aus Beton, zwei Stockwerken mit Keller, jeweils ca.  $100\text{m}^2$ . Es hat keine mechanischen Belüftungssysteme und der Radoneintritt fand hauptsächlich über den Keller statt. Durch Konvektion trat Radon in die Wohnräume über. Die Radon-Konzentrationen ergaben sich vor dem Einbau des Radonsaugers zu ca.  $800\text{ Bq}/\text{m}^3$  und lagen nach dem Einbau bei nur noch ca.  $80\text{ Bq}/\text{m}^3$ . Eine Reduktion der Radonkonzentration um 90% wird durch die Radonsauger in vielen Anwendungsfällen erreicht. Da der Untergrund porös war, wurde die Durchflussrate bzw. Förderleistung des Radonsaugers wichtiger als seine Pressung angesehen. Außerdem waren kurze Abluftleitungen möglich; somit war die Pressung eines RS100 nicht erforderlich und es kam ein RS 400-Radonsauger zum Einsatz. Der Corroventa RS400 wurde mit zwei Ansaugleitungen versehen (siehe Abb. 2). Sie führten über eine angelegte Kernbohrung unter die Bodenplatte. Von Bautechnikern wurde diese als bautechnisch unproblematisch angesehen. Der RS400 saugt die geförderte Bodenluft über ein Abluft-Rohrleitungssystem ins Freie. Dies kann direkt oberhalb der Grasnarbe aus der Gebäudefassade heraus erfolgen oder durch Leitungsführung über Dach außen an der Fassade entlang oder im Gebäude selbst. Dies ist stets eine Frage des finanziellen Budgets und der optischen Ansprüche. Durch den RS 400 konnte der Druck "unter Bodenplatte" niedriger als im Gebäude gehalten werden und der Radoneintritt ins Gebäude wird gehemmt. Zusätzlich wurden noch Ritzen, Spalten, Öffnungen und sonstige Radoneintrittspfade im Keller des Gebäudes "abgedichtet". Es ist auch zusätzlich möglich einen Schalldämpfer an den RS 400 anzufügen, um die Geräuschentwicklung noch weiter zu reduzieren. Diese Zusatztechnik kommt oft bei Souterrain-Wohnungen zum Einsatz, wo die Radonsauger in Nebenräumen der Wohnungen, in Abstellnischen oder der gleichen aus Platzgründen installiert werden müssen.



**Abb. 2** Installationsskizze des Corroventa®-Radonsaugers RS 400

### **3 Das „Linköping-Projekt“**

Eines der umfangreichsten Projekte, welches mithilfe der Corroventa®-Radon Saugtechnik erfolgreich saniert werden konnte, ist das im Auftrag der Stadt Linköping und der Wohnungsgesellschaft Stångåstaden durchgeführte „Linköping-Projekt“. Die Radonkonzentrationen der Stadt wurden dabei systematisch, sowohl in Bodenluftmessungen als auch in bisher über 10.000 Einzelmessungen in Wohnräumen erfasst. Alle Messergebnisse wurden auf Basis von Lageplänen einzelner Wohnsiedlungen ausführlich dokumentiert. Im Rahmen des Projektumfanges werden jährliche Radonkonzentration-Kontrollmessungen und Wartungen der installierten Radonsauger und Radonschutzsysteme durchgeführt.

#### **3.1 Typische Bauformen und Bauausführungen**

Aufgrund der geologischen Randbedingungen in Linköping ist bekannt, dass die Erhöhung der Radonwerte in den Gebäuden hauptsächlich auf Radon aus dem Untergrund zurückzuführen ist. Nur zu einem kleinen Teil ist Radon aus den verwendeten Baustoffen nachzuweisen.

Die untersuchten Gebäude wurden im Wesentlichen zwischen den Jahren 1900 und 1990 errichtet. Der überwiegende Teil der Gebäude sind Mehrfamilienhäuser in zwei- bis dreigeschossiger Bauweise. Während die ältesten Gebäude überwiegend mit begehbaren Kellern errichtet wurden, setzte sich später aus Kostengründen die Kriechkeller-Bauweise (mit Querbelüftung) durch. Im Rahmen von energetischen Sanierungen wurden ursprünglich vorhandene natürliche Belüftungen häufig verschlossen. Abdichtungen der Gebäudehülle in diesem Zusammenhang führten ebenfalls eher zu einem Anstieg der Radon-Konzentration. Erst in den letzten 30 Jahren wurde mit vermeintlich dichten Beton-Bodenplatten ohne Unterkellerung gebaut.

Es kann festgestellt werden, dass die Radon-Konzentration in den bewohnten Räumen all dieser Bauformen deutlich über dem in Schweden festgelegten Richtwert von 200 Bq/m<sup>3</sup> liegen kann. Die unter Ziffer 1.3 beschriebenen Einflussfaktoren spielen hier eine wichtige Rolle. Insbesondere in den nichtunterkellerten, neueren Gebäuden liegen die Radon-Konzentrationen teilweise bei weit über 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Die Ursache liegt in den nicht entsprechend dicht ausgeführten Leitungsdurchführungen, aber auch an (in nahezu jedem Gebäude nachweisbaren) Rissen in der Bodenplatte aufgrund von insbesondere Setzungen. Flexible Abdichtungen unter dem Beton etablierten sich erst später.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Gebäudealter und der korrespondierenden, gemessenen Radonkonzentration im jeweiligen Gebäude konnte nicht nachgewiesen werden.

#### **3.2 Darstellung des Projektumfangs**

Die Radon-Messungen und Sanierungen erstreckten sich über die gesamte Stadt Linköping. Bereits vor der Beauftragung an Corroventa wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um Gebäude gegen eindringendes Radon abzudichten. Hierzu sei angemerkt, dass solche Maßnahmen die Situation zwar verbesserten, aber nur selten zu einer dauerhaften Absenkung der Radon-Konzentration führten. Während des gesamten Projektumfanges war und ist die Universität Linköping als unabhängige Kontroll-Instanz mit einbezogen.

Beispielhaft sei hier eine Wohnsiedlung dargestellt, die aus verschiedenen Bauabschnitten besteht. Die Radon-Konzentrationsmessungen wurden systematisch in jeder Wohnung durchgeführt.

Norra och Södra Majajden  
Område 1 och 11



Abb. 3 Übersichtsplan einer typischen Wohnsiedlung

Bis heute wurden über 1.700 Corroventa®-Radonsauger in Linköping installiert.

Nach dem Einbau der entsprechend nach Ziffer 2.1 ausgewählten Radon-Saugtechnik wurden in allen Wohnungen erneut Radon-Konzentrationsmessungen zum Nachweis der Wirksamkeit vorgenommen. Hier sei angemerkt, dass 100% der Kontrollmessungen und ebenso die seit der Installation jährlich durchgeführten Überprüfungen der Radon-Konzentration eine Absenkung weit unter den Richtwert nachgewiesen haben. Ein späterer Anstieg konnte in keinem Fall bisher beobachtet werden.

In der folgenden Darstellung wird die systematische Dokumentation dargestellt.

Corroventa 55 st RS, radonsugar i omr 41 Lambohöv

Objekt	Lätaadress	2004 - 2005			sanering	2005 - 2006			Resultat
		V. rum	S. rum	Arsm.v.		V. rum	S. rum	Arsm.v.	
41H02 104 010	Arrendegatan 104	280	250	270	RS 100	50	40	40	✓
41H02 104 013	Arrendegatan 104	400	270	340	RS 100	80	80	80	✓
41H05 098 010	Arrendegatan 98	380	310	350	RS 300	60	50	50	✓
41H05 098 011	Arrendegatan 98	380	140	260	RS 300	40	30	30	✓
41H06 096 010	Arrendegatan 96	350	340	340	RS 300	40	30	30	✓
41H06 096 011	Arrendegatan 96	370	490	390	RS 300	30	40	30	✓
41H07 094 011	Arrendegatan 94	750	320	530	RS 300	30	50	40	✓
41I03 039 010	Arrendegatan 39	290	160	220	RS 300	70	saknas	70/5	✓
41I03 039 011	Arrendegatan 39	500	490	490	RS 300	50	70	60	✓
41I04 037 011	Arrendegatan 37	220	270	240	RS 100	60	70	70	✓
41I04 037 012	Arrendegatan 37	290	240	260	RS 100	120	130	130	✓
41I05 043 010	Arrendegatan 43	230	270	250	RS 300	30	30	30	✓
41I05 043 011	Arrendegatan 43	360	300	330	RS 300	40	40	40	✓
41I08 045 010	Arrendegatan 45	220	190	210	RS 300	40	60	50	✓
41I09 049 010	Arrendegatan 49	330	310	320	RS 300	170	180	180	✓
41I09 049 011	Arrendegatan 49	280	260	270	RS 300	50	60	60	✓
41I10 051 010	Arrendegatan 51	410	400	400	RS 300	110	90	100	✓
41I10 051 011	Arrendegatan 51	220	110	160	RS 300	40	60	60	✓
41I11 055 010	Arrendegatan 55	200	180	190	RS 300	80	90	80	✓
41I11 055 011	Arrendegatan 55	390	350	370	RS 300	70	60	60	✓
41I12 053 010	Arrendegatan 53	420	550	480	RS 300	60	50	50	✓
41I14 059 010	Arrendegatan 59	200	260	230	RS 300	40	40	40	✓
41I15 061 010	Arrendegatan 61	290	270	280	RS 300	50	50	50	✓
41I15 061 011	Arrendegatan 61	240	240	240	RS 300	40	40	40	✓
41I16 063 011	Arrendegatan 63	350	320	330	RS 300	40	30	40	✓
41I17 065 010	Arrendegatan 65	540	370	450	RS 300	120	90	110	✓
41I18 067 010	Arrendegatan 67	410	430	420	RS 300	60	80	70	✓
41I18 067 011	Arrendegatan 67	380	450	420	RS 300	50	50	50	✓
41I20 075 011	Arrendegatan 75	230	90	160	RS 300	160	80	120	✓
41K02 001 010	Arrendegatan 1	240	220	230	RS 300	40	50	50	✓
41K03 003 011	Arrendegatan 3	570	470	530	RS 300	50	60	50	✓
41K04 005 010	Arrendegatan 5	280	240	260	RS 300	40	40	40	✓
41K05 009 011	Arrendegatan 9	410	450	430	RS 300	40	50	50	✓
41K06 007 011	Arrendegatan 7	260	240	250	RS 300	60	50	50	✓
41K07 011 011	Arrendegatan 11	690	630	660	RS 300	30	40	40	✓
41K08 015 010	Arrendegatan 15	1130	1120	1120	RS 300	200	170	180	✓
41K08 015 011	Arrendegatan 15	590	490	540	RS 300	70	60	60	✓
41K09 013 010	Arrendegatan 13	280	320	300	RS 300	40	40	40	✓
41K09 013 011	Arrendegatan 13	570	430	480	RS 300	30	40	40	✓

Abb.4 Dokumentation der Messwerte, vor und nach der Installation von Radonsaugern

Dieses Projekt zeigt eindrucksvoll, dass die Methode der gezielten Radon Absaugung und der permanenten Aufrechterhaltung einer Druckdifferenz zwischen Baugrund und Gebäude zu einer dauerhaften Absenkung der Radon-Konzentration unter den Grenzwert führt.

Hier sei angemerkt, dass erfolgreich durchgeführte Radon-Sanierungen in Schweden mit einem Zuschuß von bis zu 50% der Aufwendungen gefördert werden. Die Höchstgrenze der Förderung beträgt 15.000SEK (ca. 1.800€). Im Vergleich zu Abdichtungsmaßnahmen ist die Installation der Corroventa<sup>®</sup>-Radonsauger deutlich kostengünstiger, so daß diese Förderung einen großen Anteil der Gesamtkosten abdeckt.

Die Sinnhaftigkeit der Förderung solcher Maßnahmen, die ein erwiesenermaßen hohes Risiko an Krebs zu erkranken deutlich reduzieren, muss sicher nicht in Frage gestellt werden. In Deutschland wird an dieser Stelle offensichtlich noch gespart. Die Relation der Kosten einer Förderung und einer potentiellen Kostenreduzierung durch eine Verminderung des Krebsrisikos sollte verstärkt erörtert werden.

## 4 Erste Projekte in Deutschland

Die schwedischen Erfahrungen und Corroventa<sup>®</sup>-Technik sollen nun in Deutschland, Österreich, Schweiz, Liechtenstein und Italien angewendet werden. Hierzu sind der Einsatz weiterer Messgeräte zur Messung von Radon-Konzentrationen und der Einsatz von Personendosimetern zum Arbeitsschutz vorgesehen. Die Ausbildung des Installationspersonals soll auch in Anlehnung an die „Fachkunde gemäß Strahlenschutzverordnung“ erfolgen. Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen und Betriebsanweisungen für Messtechniker und Monteure (Radonschutztechniker) soll dabei selbstverständlich werden. Außerdem strebt Corroventa eine RAL-Zertifizierung sowohl der Radonsauger als auch der Prozesse Planung und Ausführung der Radon-Anlagen an. Als besonders wichtig werden die langjährige Wartung und der Service der Radonschutz-Anlagen mit den Radonsaugern incl. Dokumentation nach der Installation angesehen. Dadurch soll auch sichergestellt werden, dass die Radonkonzentrationen dauerhaft und zuverlässig in den „radonsanierten“ Gebäuden niedrig gehalten werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Wieters, C.U.: Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlenquellen bei Arbeiten, Internet: <http://www.schwedisch-translator.de/schweden/radonbelastung.html> (besucht am 07.09.2012)
- [2] Scivyer, C.R.: Surveying dwellings with high indoor Radon levels: a BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings, Garston, Watford, UK, 1993

# HERANGEHENSWEISE UND ERGEBNISSE DER MESSUNGEN UND ANSCHLIEßENDEN SANIERUNGEN BEI DER VOLLERHEBUNG IN DREI OBERÖSTERREICHISCHEN GEMEINDEN

## APPROACH AND RESULTS OF THE MEASUREMENT AND THE FOLLOWING MITIGATIONS AFTER THE COMPLETE REVIEW OF 3 UPPER AUSTRIAN VILLAGES

Heribert Kaineder

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, Linz, Österreich

### **Zusammenfassung**

*Schon seit Anfang der 90er-Jahre wird in Oberösterreich Radon als ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko thematisiert. Nach der Erstellung der Radonpotenzialkarte und einer Reihe von Projekten zur Erhebung der Radonbelastung in Kindergärten, Schulen und Amtsgebäuden wurde in Österreich erstmalig eine Pilotstudie zur flächendeckenden Bestimmung der Radonkonzentration in jedem Wohngebäude in drei Gemeinden mit erhöhtem Radonpotenzial in Angriff genommen.*

*Mit Unterstützung der Bürgermeister und freiwilligen Helfer - vor allem der Feuerwehren - und einer umfassenden Information der Bevölkerung, konnte die Pilotstudie mit einer Teilnehmerate von über 90 % abgeschlossen werden.*

*Im überwiegenden Teil der gemessenen Gebäude (ca. 74 %) lag das Gebäudemittel unter 400 Bq/m<sup>3</sup>. Hier waren keine weiteren Maßnahmen notwendig. In den restlichen Gebäuden waren Maßnahmen in Abhängigkeit von der Beurteilungskategorie erforderlich. Die Ergebnisse dieses Projektes sind im Abschlussbericht [1] zusammengefasst. Bei Gebäuden mit einer Radonkonzentration über 1000 Bq/m<sup>3</sup> (ca. 6 %, 42 Häuser) wurde die Sanierung begleitet und darüber hinaus vom Land Oberösterreich finanziell gefördert.*

### **Summary**

*Starting in the 90ies, Radon was made a subject of discussion in Upper Austria regarding the health danger it can cause. At first, a map was made, in which the potential occurrence of Radon was shown. After that a number of projects followed, which targeted the Radon measurement of kindergartens, schools and other public buildings. After these first steps, a pilot study, in which every house within 3 villages, defined as high potential on Radon occurrence, was initiated and followed through.*

*Due to the support of the mayor, many voluntary helpers – especially the firemen – and a round up information to every citizen, the study succeeded with a participation of over 90%.*

*For a big part of the measured buildings (about 74 %) the Radon mean of the bulding stayed under 400 Bq/m<sup>3</sup>. In those causes no further actions needed to be taken. For the rest of the buildings, certain steps according to their asses category, were required. The results of this project are summarized in the final report. For those buildings with a Radon concentration of over 1000 Bq/m<sup>3</sup> (about 6 %, 42 buildings) the mitigation were accompanied and financially supported by the government of Upper Austria.*

# 1 Projektbeschreibung und Durchführung

Hauptzweck der in den drei Gemeinden Reichenau, Ottenschlag und Haibach (Mühlviertel, Oberösterreich) durchgeführten Pilotstudie „Radonvollerhebung in Gemeinden mit erhöhtem Radonrisiko“ war es, durch Messungen in jedem Wohngebäude jene Häuser zu identifizieren, in denen die BewohnerInnen einer erhöhte Radonexposition ausgesetzt sind. Weiters sollte die Variabilität der Radonkonzentration innerhalb von Gemeinden und der Einfluss von Gebäudekonstruktion und Geologie auf die Radonkonzentration ermittelt werden.

Die Pilotstudie wurde im Rahmen der Aktion „Gesunde Gemeinde“ durchgeführt. Am Beginn stand die Information der Bevölkerung über das Gemeindeblatt und mittels einer Informationsveranstaltung am 14. Jänner 2010. Von Ende Dezember 2009 bis Ende Jänner 2010 wurden die Radonmessgeräte durch freiwillige Helfer, vor allem der Freiwilligen Feuerwehren, ausgetragen und mit den BewohnerInnen ein Fragebogen ausgefüllt. Pro Haus wurde in den beiden meistbenutzten Räumen die Radonkonzentration bestimmt. Ende Juni / Anfang Juli 2010 erfolgte das Einsammeln der Radonmessgeräte durch die freiwilligen Helfer. Bodenluftmessungen zur Beurteilung des Einflusses der Geologie wurden in zwei Messserien im April und September 2010 durchgeführt.

Nach Auswertung der Messungen und Fragebögen erfolgte in zwei Schritten die Information der Bevölkerung über die Ergebnisse. Mit einem Brief wurde der Messwert – und bei Überschreitung des Richtwertes auch die empfohlenen Maßnahmen – an die BewohnerInnen übermittelt. In einer abschließenden Informationsveranstaltung am 19. Oktober 2010 konnte sich die Bevölkerung über die wesentlichen Ergebnisse der Pilotstudie und die weitere Vorgangsweise bei Richtwertüberschreitungen informieren.

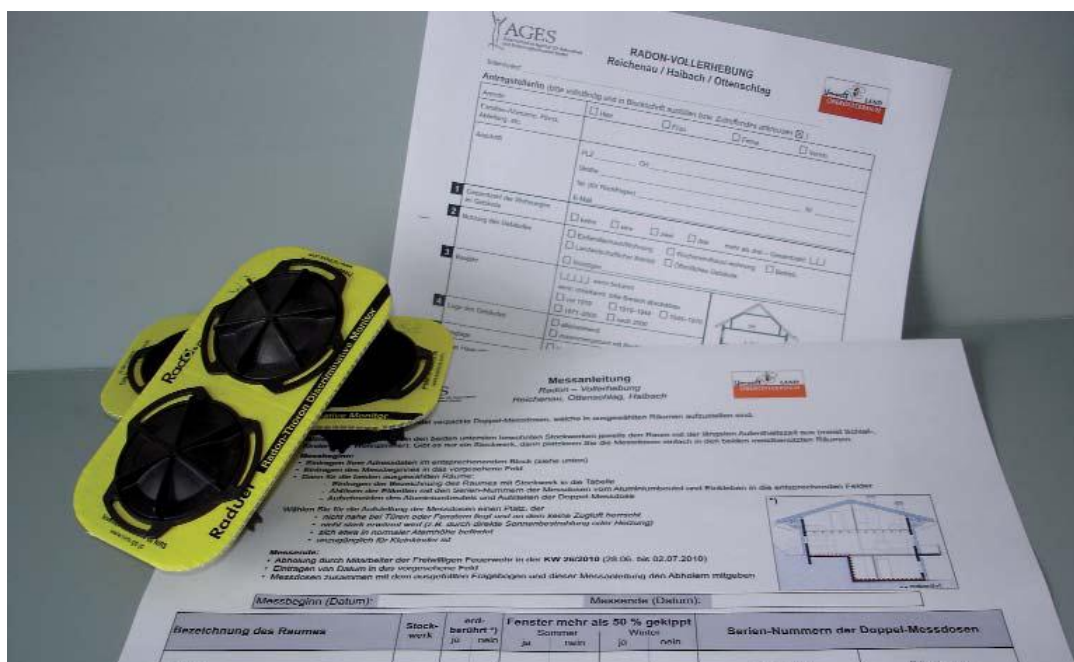
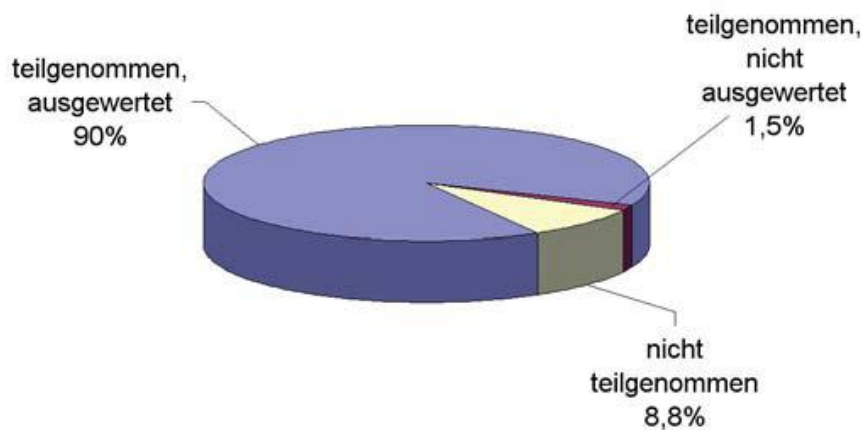


Abb. 1: Unterlagen der freiwilligen Helfer

## 2 Ergebnisse

### 2.1 Teilnahme und Rücklauf

Durch das persönliche Austragen und Einsammeln der Messgeräte wurde eine sehr hohe Teilnahme von insgesamt 691 Haushalten – das sind 91,2 % aller Haushalte in den drei Gemeinden – erreicht. Für 680 Haushalte (ca. 90 %) konnte die Radonkonzentration ermittelt werden; bei den verbleibenden 11 Haushalten wurden die Messgeräte nicht retourniert.

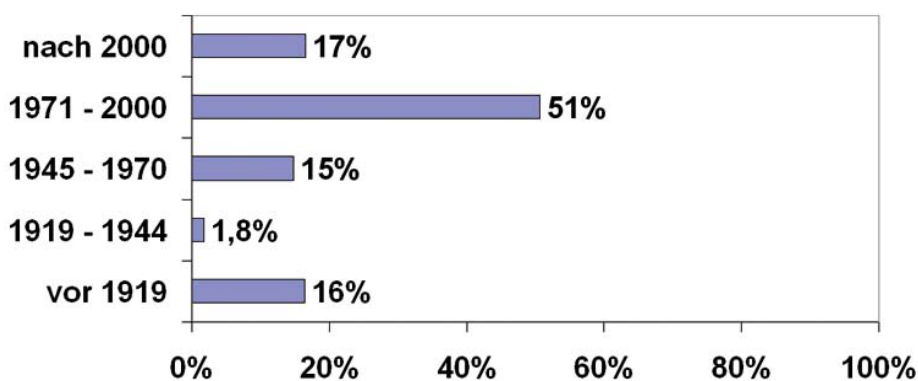


**Abb. 2:** Grafische Auswertung von Teilnahme und Rücklauf

### 2.2 Gebäudedaten

Mittels Fragebogen wurden jene Gebäudedaten erhoben, die zur Berechnung des Radonpotenzials notwendig sind. Das Potenzial ist wiederum erforderlich, um das Radonrisiko für die drei Gemeinden zu bewerten.

Ein interessantes Ergebnis der Auswertung der Gebäudedaten ist, dass ca. zwei Drittel aller Gebäude in den drei Gemeinden nach dem Jahr 1971 errichtet wurden.

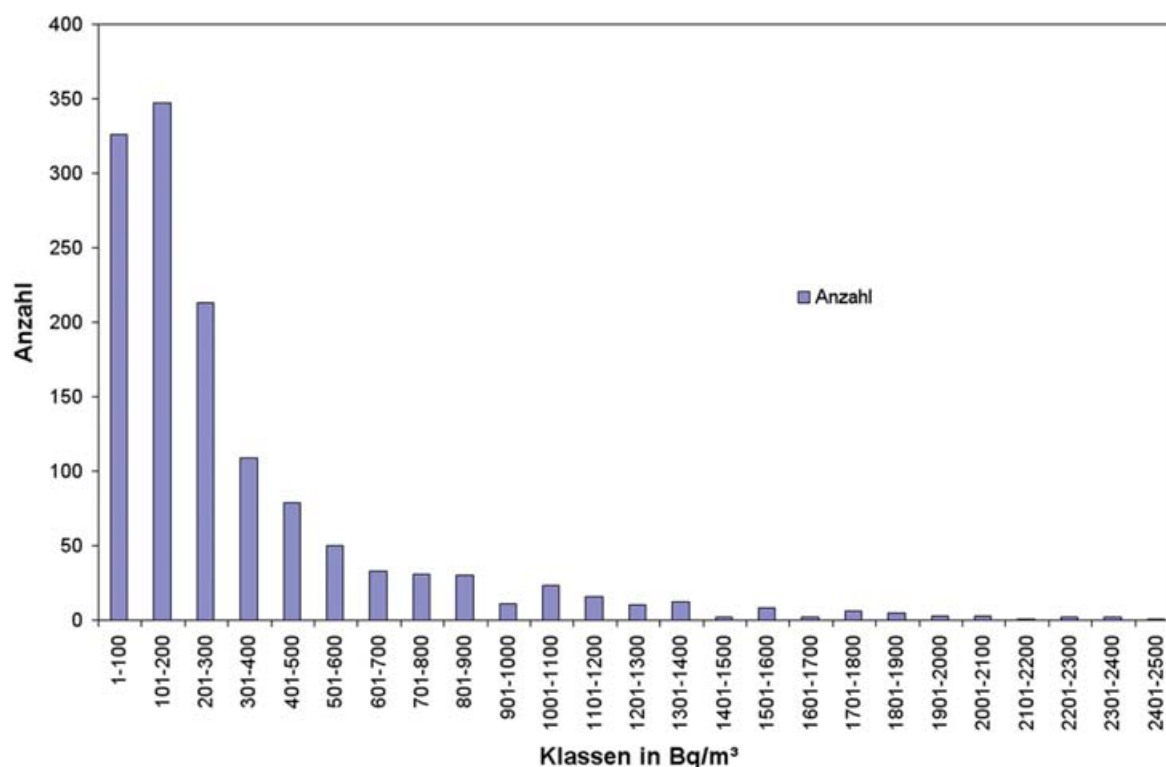


**Abb. 3:** Übersicht Gebäudedaten nach Baujahr

## 2.3 Radon in Wohnräumen

Insgesamt wurden Radonmessungen in 1.351 Räumen ausgewertet. Der überwiegende Teil der Messergebnisse liegt unter 400 Bq/m<sup>3</sup>. Der höchste gemessene Wert betrug 2.416 Bq/m<sup>3</sup>. Aufgrund der langen Messzeit von 6 Monaten und des gewählten Messzeitraumes (3 Monate im Winterhalbjahr, 3 Monate im Sommerhalbjahr) entsprechen diese Werte gut den Jahresmittelwerten!

Die nachstehende Grafik zeigt die Anzahl der Räume in Radonkonzentrationsklassen zu 100 Bq/m<sup>3</sup>.



**Abb. 4:** Anzahl der Räume in Radonkonzentrationsklassen zu 100 Bq/m<sup>3</sup>

## 3 Bewertung und Maßnahmen

Grundlage für die Bewertung der Radonmessergebnisse stellt die Empfehlung der Österreichischen Strahlenschutzkommission für die Begrenzung der Radonexposition in Innenräumen dar. Darin ist als Richtwert für bestehende Gebäude 400 Bq/m<sup>3</sup> festgelegt (Jahresmittelwert). Wird der Richtwert überschritten, wird die Durchführung von Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration empfohlen.

### 3.1 Beurteilungskategorien und Maßnahmen

Basierend auf dem österreichischen Richtwert und der internationalen Broschüre „Radon – Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden“ wurden drei Beurteilungskategorien mit entsprechenden Empfehlungen für Maßnahmen festgelegt:



**Tab. 1:** Beurteilungskategorien mit entsprechenden Empfehlungen für Maßnahmen

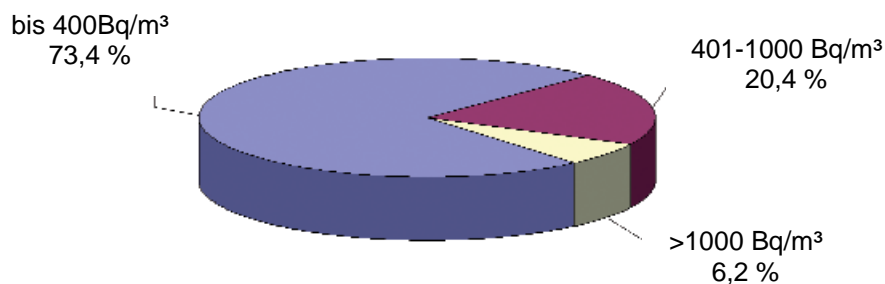
Beurteilungskategorie	Empfohlene Maßnahmen
bis 400 Bq/m <sup>3</sup>	keine Maßnahmen erforderlich
401 bis 1.000 Bq/m <sup>3</sup>	Berücksichtigung des Radonsanierungsaspektes bei zukünftigen allgemeinen baulichen Sanierungsmaßnahmen; bis zur Sanierung verstärktes Lüften der betroffenen Räume (*)
mehr als 1.000 Bq/m <sup>3</sup>	Durchführung von baulichen Radon-Sanierungsmaßnahmen innerhalb von 3 Jahren; bis zur Sanierung verstärktes Lüften (*) beziehungsweise Nutzungsänderung der betroffenen Räume

(\*) Bis zur Umsetzung der Radonsanierung kann die Radonkonzentration durch mehrmaliges Quer oder Stoßlüften gesenkt werden. Außerhalb der Heizperiode sollen die Fenster so oft als möglich geöffnet oder gekippt bleiben.

### 3.2 Auswertung der Gebäudemittelwerte nach Beurteilungskategorien

Im überwiegenden Teil der gemessenen Gebäude (ca. 74 %) liegt das Gebäudemittel unter 400 Bq/m<sup>3</sup>. Hier sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.

In insgesamt 181 Gebäuden sind jedoch Maßnahmen in Abhängigkeit von der Beurteilungskategorie erforderlich.



Kategorie	Anzahl	Anteil
bis 400 Bq/m <sup>3</sup>	499	73,4 %
401 bis 1.000 Bq/m <sup>3</sup>	139	20,4 %
mehr als 1.000 Bq/m <sup>3</sup>	42	6,2 %
	680	100 %

**Abb. 5:** Auswertung der Gebäudemittelwerte

## 4 Empfehlungen

### 4.1 Bestehende Gebäude

Wurde eine Richtwertüberschreitung festgestellt, wurde der Bürger aufgefordert die empfohlenen Maßnahmen umzusetzen. Die internationale Broschüre „Radon – Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden“ gab dem Bürger einen ersten Überblick über mögliche Maßnahmen. Darüber hinaus wurde eine fachliche Beratung und die Fördermöglichkeiten des Landes Oberösterreich angeboten.

### 4.2 Neubauten

Da diese drei Gemeinden im Risikogebiet liegen werden zukünftig für Neubauten einfache und kostengünstige Vorsorgemaßnahmen im Bauverfahren vorgeschrieben.

Als Grundlage für die Maßnahmen werden die Broschüre „Radon – Vorsorgemaßnahmen bei Neubauten“ und die ÖNORM S 5280-2 (Ausgabe 15.07.2012) empfohlen. Das Land Oberösterreich bietet auch für Neubauten Förderungen in Radonrisikogebieten an. Bauvorhaben im Radonrisikogebiet mit ständig bewohnten erdberührenden Wohn- und Schlafräumen werden nach einer verpflichtenden Beratung vom Land Oberösterreich mit 364 Euro gefördert.

## 5 Sanierungen – Nachbetreuung

Nach der Übermittlung der Messergebnisse und der Informationsveranstaltung am 19. Oktober 2010 an die Bürger der drei Gemeinden wurden Objekte mit Richtwertüberschreitungen vom Land Oberösterreich nachbetreut. Die Bürger mussten sich jedoch beim Land Oberösterreich von sich aus aktiv melden.

Bis Mitte 2012 meldeten sich von diesen drei Gemeinden 18 Bewohner und beanspruchten eine kostenlose Beratung und finanzielle Fördermöglichkeiten beim Land Oberösterreich.

**Tab. 2:** *Tabelle über die Sanierungsaktivitäten in den drei Gemeinden (sortiert Radonkonzentration Gebäudemittel vor der Sanierung)*

Nr.	Radonkonzentration Gebäudemittel in Bq/m <sup>3</sup>		Sanierungsmethode	Baujahr	Kosten in € <sup>1)</sup>
	vor Sanierung	nach Sanierung			
1	1665	<400	Überdruckmethode in einzelnen Räumen – derzeit noch in Umsetzung – die Methode wurde bereits erfolgreich getestet	1983	ca. 500.- bis 1.000
2	1377	212	UBA Methode – Ventilator saugt dauerhaft	1974	ca. 500
3	1327	60	UBA Methode unter Fundamentplatte – Ventilator saugt dauerhaft	2006	ca. 800.-
4	1256	-	Nutzungsänderung – betroffene Räume werden nicht mehr genützt	1998	keine

Nr.	Radonkonzentration Gebäudemittel in Bq/m <sup>3</sup>		Sanierungsmethode	Baujahr	Kosten in € <sup>1)</sup>
	vor Sanierung	nach Sanierung			
5	1170	220	Unterdruckerzeugung in einem Kellerraum - derzeit noch nicht im Dauerbetrieb – Methode bereits getestet	1972	ca. 500.-
6	1142	derzeit Nachmessung	Installation einer mechanischen Wohnraumlüftung auf ausdrücklichen Wunsch des Bewohner	1970	Keine Angaben
7	1141	165	UBA unter Fundamentplatte – Ventilator saugt dauerhaft	1998	1785.- Einbau Firma
8	1136	145	UBA Methode – Ventilator saugt dauerhaft	2001	ca. 700.-
9	1020	118	Unterdruckerzeugung in einem Kellerraum – Ventilator im Dauerbetrieb	1945 - 1970	ca. 300.-
10	993	72	UBA Methode unter Fundamentplatte – Ventilator saugt dauerhaft	2008	ca. 355.-
11	968	384	UBA – passiv mit Abluft über bestehenden Kamin	1979	Bohrungen hat Betreiber selbst vorgenommen
12	923	-	UBA Methode vorgeschlagen – noch nicht umgesetzt	1979	
13	814	<400	Druckausgleich in den erdberührenden Räumen – getestet jedoch noch nicht ausgeführt	2005	ca. 1.000.-
14	797	-	Generalsanierung in den nächsten Jahren – vorübergehend verstärktes Lüften	1955	
15	755	-	Nachmessung erfolgte – derzeit vom Bewohner keine weiteren Maßnahmen vorgesehen	1980	
16	589	-	Nachmessung erfolgte – es wurde eine Unterhausabsaugung vorgeschlagen – Umsetzung erfolgt noch	1978	
17	541	-	Nachmessung erfolgte – Erneuerung der erdberührenden Räume wegen thermischer Sanierung – derzeit in Umsetzung	1965	
18	478	350	Betrieb der mechanische Belüftung wurde geändert bzw. adaptiert	2002	keine

<sup>1)</sup> Die Kosten sind ohne Beratung und Nachmessungen

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] "Radonvollerhebung in den Gemeinden Reichenau, Haidach und Ottenschlag" AGES Linz, BOKU Wien, Universität Wien, im Auftrag des Lebensministerium, Oktober 2010

## Referentenverzeichnis

### **Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig**

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden  
und Vorstandsvorsitzender KORA e.V.  
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1  
Telefon: 0351 / 462 - 2440, Telefax: 0351 / 462 - 2172  
www.bau.htw-dresden.de email: dresden@koraev.de

### **Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel**

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden  
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1  
Telefon: 0351 / 462 - 3101, Telefax: 0351 / 462 - 2185  
www.htw-dresden.de email: stenzel@htw-dresden.de

### **Fritz Jaeckel**

Staatssekretär  
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft  
D-01097 Dresden, Archivstraße 1  
www.smul.sachsen.de email: poststelle@smul.sachsen.de

### **Christian Schramm**

Wismut GmbH  
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz  
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29  
Telefon: 0371 / 8120 - 0 Tefefax: 0371 / 8120 - 584  
www.wismut.de email: info@wismut.de

### **Dr. rer. nat. Walfried Löbner**

WISMUT GmbH  
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz  
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29  
Telefon: 0371 / 8120 – 127, Telefax: 0371 / 8120 - 107  
www.wismut.de email: w.loebner@wismut.de

### **Prof. h.c. Dr. rer.nat. habil Bernd Leißring**

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX  
D-09114 Chemnitz, Max-Planck-Str. 18  
Telefon: 0371 / 336 - 2788 Telefax: 0371 / 336 - 2789  
www.geoprax-leissring.de email: bernd@leissring.de

### **Kai Geringswald**

Wismut GmbH  
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz  
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29  
Telefon: 0371 / 8120 - 0 Tefefax: 0371 / 8120 - 584  
www.wismut.de email: info@wismut.de

### **Peter Bossew**

Bundesamt für Strahlenschutz  
D-10318 Berlin, Köpenicker Allee 120-130  
Telefon: 030 / 18333 – 0 Telefax: 030 / 18333 – 18 85  
www.bfs.de email: pbosew@bfs.de

**Franz Anton Rößler**

Technische Hochschule Mittelhessen  
Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz  
D-35390 Gießen, Wiesenstraße 14  
Telefon: 0641 / 309 – 2430  
www.thm.de email: franz.a.roessler@mni.thm.de

**Tahar Azzam Jai**

Technische Hochschule Mittelhessen  
Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz  
D-35390 Gießen, Wiesenstraße 14  
Telefon: 0641 / 309 – 0  
www.thm.de

**Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz**

IAF - Radioökologie GmbH  
D- 01454 Radeberg, Wilhelm-Rönsch-Str. 9  
Telefon: 03528 / 48730 – 0 Telefax: 03528 / 48730 – 22  
www.iaf-dresden.de email: info@iaf-dresden.de

**René Baumert**

IAF - Radioökologie GmbH  
D- 01454 Radeberg, Wilhelm-Rönsch-Str. 9  
Telefon: 03528 / 48730 – 0 Telefax: 03528 / 48730 – 22  
www.iaf-dresden.de email: info@iaf-dresden.de

**Julia Gilberg**

Freie Universität Berlin  
D-14195 Berlin, Kaiserswerther Str. 16-18  
www.fu-berlin.de email: julia-gilberg@web.de

**Dipl.-Ing. Freia Frankenstein-Krug**

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH, Bereich Energieeffizienz  
D-01069 Dresden, Pirnaische Straße 9  
Telefon: 0351 4910 – 3160 Telefax: 0351 4910 – 3155  
www. www.saena.de email: freia.frankenstein-Krug@saena.de

**Dipl.-Ing. Richard Zinken**

Country Manager Germany  
Corroventa Entfeuchtung GmbH  
D-40668 Meerbusch, In der Loh 36c  
Telefon: 02150 9654 – 15 Telefax: 02150 2061 – 46  
www.corroventa.de email: richard.zinken@corroventa.de

**Dr. rer. nat. Gerhard Binker**

Geschäftsführer  
Binker Materialschutz GmbH  
D-91207 Lauf a. d. Pegnitz, Westendstraße 3  
Telefon: 09123 9982 – 0 Telefax: 09123 9982 – 22  
www.radonschutz.eu email: mail@radonschutz.eu

**Heribert Kaineder**

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung  
Abteilung Umweltschutz  
A-4021 Linz, Kärntnerstraße 10-12  
Telefon: +43732 77 20 – 145 50 Telefax: +43 732 77 20 – 21 45 49  
www.land-oberoesterreich.gv.at email: heribert.kaineder@ooe.gv.at





Herausgeber KORA e.V.  
Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum Radonsicheren Bauen und Sanieren  
c/o HTW Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden  
Telefon: 0351/4622400, Telefax: 0351/4622172  
www.koraev.de, email: dresden@koraev.de

Dresden 2012

Redaktionelle Bearbeitung: M.Sc. Ronny Sachse

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.  
Ohne ausdrückliche Genehmigung von KORA e.V. ist es nicht gestattet, dieses Werk  
oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen  
sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen vorzunehmen.  
Angaben ohne Gewähr.

Für die Inhalte sind die jeweiligen Verfasser verantwortlich.

Druck und Bindung:  
Lichtpaus- und Kopierstudio Dresden